

**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**DESAIN SISTEM MANAJEMEN ENERGI UNTUK  
PENJADWALAN PERALATAN DAN SUMBER ENERGI  
SKALA RUMAH TANGGA MENGGUNAKAN *MIXED  
INTEGER LINEAR PROGRAMMING***

Muhammad Ali Fikri  
NRP 07111440007002

Dosen Pembimbing  
Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT  
Dr. Dimas Fajar Uman Putra, ST., MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018



**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**DESAIN SISTEM MANAJEMEN ENERGI UNTUK  
PENJADWALAN PERALATAN DAN SUMBER ENERGI  
SKALA RUMAH TANGGA MENGGUNAKAN *MIXED  
INTEGER LINEAR PROGRAMMING (MILP)***

**Muhammad Ali Fikri  
NRP 07111440007002**

**Dosen Pembimbing  
Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT  
Dr. Dimas Fajar Uman Putra, ST., MT.**

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018**



**FINAL PROJECT - TE 141599**

**DESIGN OF HOME POWER MANAGEMENT SYSTEM  
FOR ELECTRICAL APPLIANCES AND POWER  
RESOURCES USING MIXED INTEGER LINEAR  
PROGRAMMING (MILP)**

**Muhammad Ali Fikri  
NRP 07111440007002**

**Supervisors  
Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT  
Dr. Dimas Fajar Uman Putra, ST., MT.**

**DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty of Electrical Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2018**



## **PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Desain Sistem Manajemen Energi untuk Penjadwalan Peralatan dan Sumber Energi Skala Rumah Tangga Menggunakan *Mixed Integer Linear Programming***” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juni 2018

Muhammad Ali Fikri  
NRP 07111440007002

**DESAIN SISTEM MANAJEMEN ENERGI UNTUK  
PENJADWALAN PERALATAN DAN SUMBER  
ENERGI SKALA RUMAH TANGGA  
MENGUNAKAN *MIXED INTEGER LINEAR  
PROGRAMMING (MILP)***

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan**

**Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

**Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga**

**Departemen Teknik Elektro**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

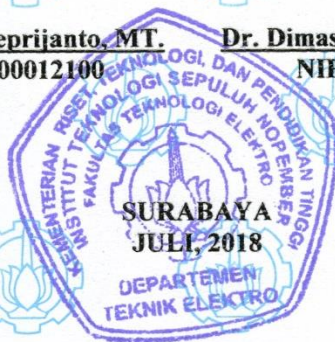
**Menyetujui :**

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

**Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.**  
**NIP 19741129200012100**

**Dr. Dimas Fajar Uman Putra, ST., MT.**  
**NIP 196509011991032002**



# **Desain Sistem Manajemen Energi untuk Penjadwalan Peralatan dan Sumber Energi Skala Rumah Tangga menggunakan *Mixed Integer Linear Programming (MILP)***

Nama Mahasiswa : Muhammad Ali Fikri  
NRP : 07111440007002  
Pembimbing I : Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.  
NIP : 197411292000121001  
Pembimbing II : Dr. Dimas Fajar Uman Putra, ST., MT.  
NIP : 196509011991032002

## **Abstrak:**

Konsumsi energi Indonesia meningkat pesat sejak awal 2000-an. Konsumsi energi tumbuh rata-rata 4,2% per tahun selama 15 tahun terakhir. Permintaan energi listrik yang meningkat menyebabkan beberapa masalah seperti pencemaran lingkungan dan menipisnya sumber-sumber energi fosil. Untuk mengatasi masalah tersebut, jaringan konvensional mulai bertransformasi menjadi *smart grid*. *Home power management system* (HPMS) adalah salah satu aplikasi yang paling penting dari *smart grid*. Dengan manajemen yang terpusat konsumsi energi listrik sektro rumah tangga dapat dihemat.

Dalam tugas akhir ini, HPMS yang diusulkan bertujuan untuk meminimalkan biaya energi listrik. Sistem ini terdiri *smart electrical appliances, power units (grid and photovoltaic system with energy storage), main controller, web application, and communication network*. Pada permulaan hari, *main controller* akan mengumpulkan jadwal yangatur pengguna dan harga listrik dari *grid* dan *PV*. Sitem akan memecahkan masalah *mixed integer linear prograaming* yang dirumuskan dengan batasan operasi yang yang ditentukan untuk peralatan listrik, harga listrik, dan *power resources*.

Solusi dari tugas akhir ini menyediakan rekomendasi jadwal sumber daya listrik dengan biaya yang. Hasil simulasi dan eksperimen adalah telah menunjukkan bahwa HPMS yang diusulkan dapat mengurangi biaya listrik 30-80%.

**Kata kunci:** *Home Power Management System, Smart Grids, Mixed Integer Linear Programming (MILP)*

*[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]*



# **Design of Home Power Management System for Electrical Appliances and Power Resources using Mixed Integer Linear Programming (MILP)**

Name : Muhammad Ali Fikri  
NRP : 07111440007002  
Supervisor I : Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.  
NIP : 197411292000121001  
Supervisor II : Dr. Dimas Fajar Uman Putra, ST., MT  
NIP : 196509011991032002

## **Abstract:**

Indonesia energy consumption has increased rapidly since early 2000s. Energy consumption grows in average 4.2% per year over the last 15 years. The demand of electricity is increasing day by day leading some problems such as environmental pollution and depletion of fossil sources. For solving these basic energy problems, conventional network turns to smart grids structure. Home power management system (HPMS) is one of the most important application of smart grids. With central management of residential power consumption provides energy saving.

In this bachelor thesis, HPMS is proposed to minimize the electricity cost. The system is composed of smart electrical appliances, power units (grid and photovoltaic system with energy storage), main controller, web application, and communication network. At the beginning of the day, main controller gather user request and electrical price from the grid and solve a mixed integer linear programming problem that formulated with the smart and energy efficient operation constraints defined for appliance, electrical price, and power units.

The solution of this problem provide cost minimizing schedules of power resources. Simulation and experiments result are demonstrated that the proposed HPMS can reduce the electrical cost 30% up to 80%.

**Keywords: Home Power Management System, Smart Grids, Mixed Integer Linear Programming (MILP)**

*[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan penelitian ini sebagai tugas akhir untuk menyelesaikan jenjang studi S1 pada bidang studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Besar harapan penulis agar tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca, khususnya mahasiswa Teknik Elektro.

Dalam menyelesaikan tugas akhir ini saya mengucapkan terimakasih atas segala bantuan, bimbingan, cinta dan dukungan yang telah diberikan, kepada:

1. Ibuk, ibuk, ibuk, ayah, dan adik atas segala doa, dukungan, nasehat, dan segalanya.
2. Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT., selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir Dr. Dimas Fajar Uman Putra, ST., MT selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir yang telah memberikan arahan, saran serta bimbingan selama pengerjaan tugas akhir dan selama perkuliahan di Teknik Elektro.
3. Prof. Ontoseno Penangsang, Bapak Rony Seto Wibowo, Bu Ni Ketut Aryani, dan Bapak Suyanto, serta dosen-dosen Teknik Elektro ITS yang telah memberikan banyak masukan dan pengetahuan kepada penulis.
4. Rekan-rekan asisten Laboratorium Simulasi Sistem Tenaga Listrik, Mila, Ori, Aden, Sabil, Amirul, Rinthon, Esa, dan Konci serta teman-teman trainee dan calon-calon trainee.
5. Rekan-rekan Penerima Beasiswa Santri Berprestasi dan Kementrian Agama Republik Indonesia.
6. Rekan-rekan Tim Robot, Lab Robot Cerdas dan Anggota UKM Robotika ITS.
7. Rekan-rekan E54, atas segala suka dan duka.
8. Rakan-rekan di PT. Lanius Inovasi Indonesia
9. Adik-adik trainee dan calon trainee di Laboratorium Sistem Tenaga Listrik Teknik Elektro ITS.
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, dengan tanpa mengurangi rasa terimakasih penulis.

Dalam menyusun tugas akhir ini, penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran dari pembaca sangat diharapkan untuk pengembangan penelitian dan ilmu pengetahuan.

Surabaya, Juni 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

|   |     |
|---|-----|
| <b>HALAMAN JUDUL</b>  |     |
| <b>LEMBAR KEASLIAN</b>  |     |
| <b>LEMBAR PENGESAHAN</b>  |     |
| <b>ABSTRAK</b> .....  | i   |
| <b>ABSTRACT</b> .....   | iii |
| <b>KATA PENGANTAR</b> .....   | v   |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....   | vii |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....  | ix  |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....   | xi  |
| <b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>  |     |
| 1.1 Latar Belakang .....  | 1   |
| 1.2 Permasalahan .....  | 3   |
| 1.3 Batasan Masalah .....   | 3   |
| 1.4 Tujuan .....  | 4   |
| 1.5 Metode Penelitian .....   | 4   |
| 1.6 Sistematika Penulisan .....   | 5   |
| 1.7 Relevansi .....   | 6   |
| <b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b>   |     |
| 2.1 <i>Home Power Management System</i> .....   | 7   |
| 2.2 <i>Power Unit</i> .....   | 7   |
| 2.3 <i>Smart Grid</i> .....   | 9   |
| 2.4 <i>Photovoltaic System</i> .....  | 9   |
| 2.3.1 Sel PV .....  | 12  |
| 2.3.2 Iradiasi Matahari .....   | 13  |
| 2.5 <i>Energy Storage</i> .....   | 14  |
| 2.6 <i>Main Controller</i> .....  | 16  |
| 2.7 <i>Electronic Appliances</i> .....  | 16  |
| 2.8 <i>Mixed Integer Linear Programming</i> .....   | 17  |
| <b>BAB 3 DESAIN SISTEM MANAJEMEN ENERGI UNTUK<br/>PENJADWALAN PERALATAN DAN SUMBER ENERGI</b> |     |

## **LISTRIK SKALA RUMAH TANGGA MENGGUNAKAN MIXED INTEGER LINEAR PROGRAMMING (MILP)**

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 3.1   | Arsitektur <i>Home Power Management System</i> (HMPS) .....                                   | 19 |
| 3.2   | Desain Sistem.....  | 21 |
| 3.2.1 | Sensor Arus AC712 .....   | 22 |
| 3.2.2 | Rangkaian Pengkondisian Tegangan.....   | 23 |
| 3.2.3 | <i>Particle Photon</i> .....  | 24 |
| 3.2.4 | <i>Relay Module</i> .....   | 25 |
| 3.3   | Penjadwalan <i>Power Resources</i> dengan <i>Mixed Integer Linear Programming</i> (MILP)..... | 26 |
| 3.3.1 | <i>Mixed Integer Linear Programming</i> (MILP) .....  | 26 |
| 3.3.2 | Fungsi Biaya.....   | 27 |
| 3.4   | <i>Electronic Appliances</i> .....  | 28 |
| 3.5   | Diagram Alir .....  | 29 |

## **BAB 4 SIMULASI DAN EKSPERIMEN**

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 4.1   | Data Plan.....   | 31 |
| 4.2   | Simulasi <i>Home Power Management System</i> .....                           | 34 |
| 4.2.1 | Skenario Pertama ( <i>Grid Cost = PV Cost</i> ) .....                        | 36 |
| 4.2.2 | Skenario Kedua ( <i>Grid Cost &gt; PV Cost</i> ).....                        | 42 |
| 4.2.3 | Skenario Ketiga ( <i>Grid Cost &lt; PV Cost</i> ).....                       | 48 |
| 4.2.4 | Skenario Ketiga ( <i>Grid Cost</i> Fluktuatif, <i>PV Cost</i> Stagnan) ..... | 54 |
| 4.3   | Eksperimen Pada Aplikasi Web.....  | 60 |
| 4.3.1 | Eksperimen Satu pada Aplikasi Web .....                                      | 65 |
| 4.3.2 | Eksperimen Dua pada Aplikasi Web .....                                       | 66 |
| 4.3.3 | Eksperimen Tiga pada Aplikasi Web .....                                      | 68 |
| 4.3.4 | Eksperimen Empat pada Aplikasi Web .....                                     | 70 |

## **BAB 5 PENUTUP**

|     |                  |    |
|-----|------------------|----|
| 5.1 | Kesimpulan ..... | 78 |
| 5.2 | Saran .....      | 78 |

## **LAMPIRAN.....80**

## **DAFTAR PUSTAKA .....93**

## **BIOGRAFI PENULIS.....95**

## DAFTAR GAMBAR

|                    |   |    |
|--------------------|---|----|
| <b>Gambar 2.1</b>  | Aliran daya.....  | 7  |
| <b>Gambar 2.2</b>  | Konsep <i>smart grid</i> .....  | 9  |
| <b>Gambar 2.3</b>  | <i>Cells, Modules, and Arrays</i> .....   | 11 |
| <b>Gambar 2.4</b>  | PV koneksikan langsung ke beban.....  | 12 |
| <b>Gambar 2.5</b>  | PV dilengkapi dengan <i>energy storage</i> dengan<br><i>backup</i> generator..... | 12 |
| <b>Gambar 2.6</b>  | PV yang dilengkapi dengan kontroller dan<br><i>energy storage</i> .....           | 12 |
| <b>Gambar 2.7</b>  | PV dikoneksikan langsung ke <i>grid</i> .....                                     | 12 |
| <b>Gambar 2.8</b>  | Sel PV .....  | 13 |
| <b>Gambar 3.1</b>  | Arsitektur sistem .....   | 19 |
| <b>Gambar 3.2</b>  | (a) Skema <i>power control</i> dan<br>(b) skema <i>appliances control</i> .....   | 21 |
| <b>Gambar 3.3</b>  | Rangkaian pengkodisian tegangan .....   | 23 |
| <b>Gambar 3.4</b>  | <i>Pin out</i> dari mikrokontrolle particle photon .....                          | 24 |
| <b>Gambar 3.5</b>  | Diagram alir penyelesaian tugas akhir .....                                       | 29 |
| <b>Gambar 4.1</b>  | Penjadwalan peralatan .....   | 33 |
| <b>Gambar 4.2</b>  | Pembebanan sistem .....   | 35 |
| <b>Gambar 4.3</b>  | Grafik harga listrik <i>grid</i> dengan PV saat harga sama                        | 36 |
| <b>Gambar 4.4</b>  | Total biaya terbangkit hasil perhitungan matlab<br>skenario satu a .....          | 37 |
| <b>Gambar 4.5</b>  | Total biaya terbangkit hasil perhitungan matlab<br>skenario satu b .....          | 39 |
| <b>Gambar 4.6</b>  | Total biaya terbangkit hasil perhitungan matlab<br>skenario satu c .....          | 41 |
| <b>Gambar 4.7</b>  | Grafik harga listrik <i>grid</i> dengan PV saat<br>harga grid lebih mahal.....    | 42 |
| <b>Gambar 4.8</b>  | Total biaya terbangkit hasil perhitungan matlab<br>skenario dua a .....           | 43 |
| <b>Gambar 4.9</b>  | Total biaya terbangkit hasil perhitungan matlab<br>skenario dua b.....            | 45 |
| <b>Gambar 4.10</b> | Total biaya terbangkit hasil perhitungan matlab<br>skenario dua c .....           | 47 |
| <b>Gambar 4.11</b> | Grafik harga listrik <i>grid</i> dengan PV saat<br>harga grid lebih murah .....   | 48 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Gambar 4.12</b> Total biaya terbangkit hasil perhitungan matlab<br>skenario tiga a .....                    | 49 |
| <b>Gambar 4.13</b> Total biaya terbangkit hasil perhitungan matlab<br>skenario tiga b .....                    | 51 |
| <b>Gambar 4.14</b> Total biaya terbangkit hasil perhitungan matlab<br>skenario tiga c .....                    | 53 |
| <b>Gambar 4.15</b> Grafik harga listrik <i>grid</i> dengan <i>PV</i> saat<br>harga grid fluktuatif murah ..... | 54 |
| <b>Gambar 4.16</b> Total biaya terbangkit hasil perhitungan matlab<br>skenario empat a .....                   | 55 |
| <b>Gambar 4.17</b> Total biaya terbangkit hasil perhitungan matlab<br>skenario empat b .....                   | 57 |
| <b>Gambar 4.18</b> Total biaya terbangkit hasil perhitungan matlab<br>skenario empat c .....                   | 59 |
| <b>Gambar 4.19</b> Tampilan aplikasi web fitur <i>energy assesment</i> .....                                   | 60 |
| <b>Gambar 4.20</b> Tampilan aplikasi web fitur <i>dashboard</i> .....  | 61 |
| <b>Gambar 4.21</b> Tampilan aplikasi web fitur <i>energy saving</i> .....                                      | 62 |
| <b>Gambar 4.22</b> Tampilan aplikasi web fitur <i>power monitoring</i> .....                                   | 63 |
| <b>Gambar 4.23</b> Kapasitas baterai .....   | 66 |
| <b>Gambar 4.24</b> Perubahan harga .....   | 66 |
| <b>Gambar 4.25</b> Tampilan aplikasi <i>power log</i> pada eksperimen satu ..                                  | 67 |
| <b>Gambar 4.26</b> Kapasitas baterai .....   | 67 |
| <b>Gambar 4.27</b> Paerubahan harga .....  | 67 |
| <b>Gambar 4.28</b> Tampilan aplikasi <i>power log</i> pada eksperimen dua ..                                   | 70 |
| <b>Gambar 4.29</b> Kapasitas baterai .....   | 72 |
| <b>Gambar 4.30</b> Paerubahan harga .....  | 72 |
| <b>Gambar 4.31</b> Tampilan aplikasi <i>power log</i> pada eksperimen tiga ..                                  | 73 |
| <b>Gambar 4.32</b> Kapasitas baterai .....   | 74 |
| <b>Gambar 4.33</b> Paerubahan harga .....  | 75 |
| <b>Gambar 4.34</b> Tampilan aplikasi <i>power log</i> pada eksperimen empat ..                                 | 75 |
| <b>Gambar 4.35</b> Maket perumahan dengan <i>Home Power</i><br><i>Management System</i> .....                  | 70 |
| <b>Gambar 4.36</b> Tampilan <i>power log</i> mingguan .....  | 72 |
| <b>Gambar 4.37</b> Tampilan <i>power log</i> bulanan .....   | 73 |
| <b>Gambar 4.37</b> Tampilan <i>power log</i> tahunan .....   | 73 |



## DAFTAR TABEL

|                   |   |    |
|-------------------|---|----|
| <b>Tabel 3.1</b>  | Tabel kWh meter PLN .....   | 20 |
| <b>Tabel 3.2</b>  | Profil beban .....  | 28 |
| <b>Tabel 4.1</b>  | Harga listrik dari <i>grid</i> dan <i>photovoltaic system (PV)</i> .... | 31 |
| <b>Tabel 4.2</b>  | Data peralatan konsumen .....   | 32 |
| <b>Tabel 4.3</b>  | <i>logic</i> penjadwalan peralatan listrik .....                        | 33 |
| <b>Tabel 4.4</b>  | Kombinasi <i>power resources (grid dan microgrid)</i> .....             | 34 |
| <b>Tabel 4.5</b>  | Hasil perhitungan biaya listrik skenario satu a.....                    | 36 |
| <b>Tabel 4.6</b>  | <i>lower bond</i> dan <i>upper bond</i> skenario satu a.....            | 38 |
| <b>Tabel 4.7</b>  | Hasil perhitungan biaya listrik skenario satu b.....                    | 31 |
| <b>Tabel 4.8</b>  | <i>lower bond</i> dan <i>upper bond</i> skenario satu b.....            | 40 |
| <b>Tabel 4.9</b>  | Hasil perhitungan biaya listrik skenario satu c.....                    | 33 |
| <b>Tabel 4.10</b> | <i>lower bond</i> dan <i>upper bond</i> skenario satu c.....            | 41 |
| <b>Tabel 4.11</b> | <i>lower bond</i> dan <i>upper bond</i> skenario satu .....             | 42 |
| <b>Tabel 4.12</b> | Hasil perhitungan biaya listrik skenario dua a.....                     | 42 |
| <b>Tabel 4.13</b> | <i>lower bond</i> dan <i>upper bond</i> skenario dua a.....             | 44 |
| <b>Tabel 4.14</b> | Hasil perhitungan biaya listrik skenario dua b .....                    | 44 |
| <b>Tabel 4.15</b> | <i>lower bond</i> dan <i>upper bond</i> skenario dua b .....            | 46 |
| <b>Tabel 4.16</b> | Hasil perhitungan biaya listrik skenario dua c.....                     | 46 |
| <b>Tabel 4.17</b> | <i>lower bond</i> dan <i>upper bond</i> skenario dua c.....             | 47 |
| <b>Tabel 4.18</b> | <i>lower bond</i> dan <i>upper bond</i> skenario dua .....              | 42 |
| <b>Tabel 4.19</b> | Hasil perhitungan biaya listrik skenario tiga a .....                   | 48 |
| <b>Tabel 4.20</b> | <i>lower bond</i> dan <i>upper bond</i> skenario tiga a .....           | 50 |
| <b>Tabel 4.21</b> | Hasil perhitungan biaya listrik skenario tiga b.....                    | 50 |
| <b>Tabel 4.22</b> | <i>lower bond</i> dan <i>upper bond</i> skenario tiga b.....            | 52 |
| <b>Tabel 4.23</b> | Hasil perhitungan biaya listrik skenario tiga c .....                   | 52 |
| <b>Tabel 4.24</b> | <i>lower bond</i> dan <i>upper bond</i> skenario tiga c .....           | 53 |
| <b>Tabel 4.25</b> | <i>lower bond</i> dan <i>upper bond</i> skenario tiga .....             | 53 |
| <b>Tabel 4.26</b> | Hasil perhitungan biaya listrik skenario empat a.....                   | 54 |
| <b>Tabel 4.27</b> | <i>lower bond</i> dan <i>upper bond</i> skenario empat a.....           | 55 |
| <b>Tabel 4.28</b> | Hasil perhitungan biaya listrik skenario empat b .....                  | 56 |
| <b>Tabel 4.29</b> | <i>lower bond</i> dan <i>upper bond</i> skenario empat b.....           | 57 |
| <b>Tabel 4.30</b> | Hasil perhitungan biaya listrik skenario empat c.....                   | 58 |
| <b>Tabel 4.31</b> | <i>lower bond</i> dan <i>upper bond</i> skenario empat c.....           | 59 |

|                   |  |    |
|-------------------|--|----|
| <b>Tabel 4.32</b> | <i>lower bond</i> dan <i>upper bond</i> skenario empat ..... | 59 |
| <b>Tabel 4.33</b> | Data sensor eksperimen satu .....                            | 65 |
| <b>Tabel 4.34</b> | Data sensor eksperimen dua .....                             | 68 |
| <b>Tabel 4.35</b> | Data sensor eksperimen tiga .....                            | 71 |
| <b>Tabel 4.36</b> | Data sensor eksperimen empat .....                           | 73 |
| <b>Tabel 4.37</b> | Capital expenditure .....                                    | 78 |
| <b>Tabel 4.38</b> | Analisa ekonomi .....  | 73 |

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Meningkatnya jumlah permintaan energi listrik seiring dengan perkembangan jaman menyebabkan penyedia energi listrik dituntut untuk menyediakan pasokan energi listrik dalam jumlah yang cukup. Energi fosil banyak digunakan sebagai sumber energi listrik untuk memenuhi kebutuhan energi tersebut. Namun karena jumlahnya yang menipis, saat ini penggunaan energi fosil mulai dikurangi. Dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi, energi terbarukan mulai menjadi pilihan bagi masyarakat untuk mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil.

Energi terbarukan banyak digunakan dan dikembangkan akhir-akhir ini karena jumlahnya yang melimpah, sifatnya yang bersih serta ramah lingkungan. Sumber energi terbarukan seperti angin, cahaya matahari, dan air dimanfaatkan dalam bentuk pembangkit tersebar (*microgrid*) untuk memenuhi kebutuhan beban, meningkatkan keandalan, dan sebagainya. Karena letaknya pada sistem distribusi, penggunaan *microgrid* dinilai efektif untuk memanfaatkan energi terbarukan dalam rangka mengurangi rugi-rugi ekonomi karena sering kali pembangunan pembangkit energi terbarukan skala kecil sampai menengah bukanlah investasi yang solutif. Pada kenyataannya, terdapat masalah dalam pengaplikasian sumber energi terbarukan pada sistem karena sifatnya yang *intermittent*. Sifat ini menyebabkan pembangkit dari sumber energi terbarukan menghasilkan daya yang berubah-ubah besarnya tergantung dari ketersediaan sumber energi.

Di sisi lain, jumlah beban pada sistem bersifat dinamis atau berubah-ubah setiap waktu. Pada kasus-kasus yang sering terjadi, daya yang dihasilkan oleh pembangkit listrik dengan sumber energi terbarukan sering tidak sesuai dengan permintaan beban yang berubah-ubah. Pembangkit-pembangkit tersebut cenderung menghasilkan daya yang kecil saat permintaan beban tinggi (*on peak*) dan menghasilkan daya yang besar saat permintaan beban rendah (*off peak*). Sehingga daya yang dihasilkan banyak yang terbuang pada periode *on peak*, sedangkan pada periode *off peak*, sistem cenderung kekurangan daya dalam memenuhi permintaan beban.

Untuk mengatasi sifat *intermittent* energi terbarukan tersebut, digunakan teknologi *energy storage*. *Energy storage* berbentuk baterai menyediakan solusi untuk permasalahan integrasi pembangkit energi terbarukan. Pada penelitian ini, *energy storage* dan *microgrid* diintegrasikan ke dalam sistem untuk tujuan manajemen energi. *Energy storage* memiliki respon input-output yang cukup cepat sehingga dapat digunakan untuk menyimpan kelebihan daya dan menyalurkan kembali daya tersebut ke sistem. Penambahan *energy storage* dan *microgrid* ke dalam sistem menyebabkan diperlukan teknik optimasi manajemen energi yang berbeda daripada sebelumnya.

Manajemen energi skala rumah tangga dapat berkontribusi besar dalam menurunkan beban puncak sehingga dapat menghemat biaya investasi pada infrastruktur energi listrik. Manajemen energi skala rumah tangga yang efektif dapat dilakukan dengan partisipasi aktif konsumen pada sektor rumah tangga. Perusahaan listrik akan menetapkan tarif yang berbeda-beda pada tiap jam serta harga yang berbeda untuk biaya *charging* dan *discharging* dari sistem *microgrid* dengan *energy storage*. Pada beberapa literatur telah dilakukan banyak penelitian pada manajemen energi listrik skala rumah tangga, sebagian besar hanya meneliti manajemen energi dengan menatur penjadwalan peralatan elektronik. Contohnya pada [1] metode *particle swarm optimization* digunakan untuk memprediksi energi yang dibutuhkan dan menjadwalkan peralatan elektronik. Sedangkan [2] peralatan elektronik dijadwalkan sesuai urutan prioritas dengan batasan konsumsi daya maksimal yang ditetapkan, pada [3] konsumsi energi dijadwalkan menggunakan pendekatan *game theoretic* untuk mengurangi biaya energi listrik dan beban puncak, dan pada [4] *mix integer linear programming* digunakan untuk menjadwalkan peralatan elektronik untuk mendapatkan biaya energi listrik paling hemat.

*Mixed Integer Linear programming* adalah perhitungan yang sering digunakan untuk mencari biaya pembangkitan sistem yang optimal dengan mempertimbangkan batasan aliran daya sistem dan pertimbangan harga. Dengan adanya kemampuan *energy storage* untuk menyimpan dan menyalurkan daya, dimungkinkan perhitungan secara dinamis mengikuti perubahan level beban pada sistem dengan *energy storage* dan sumber energi terbarukan berbasis tenaga surya. Pada penelitian [5], penggunaan *energy storage* dalam sistem *microgrid hybrid* terbukti dapat mengurangi biaya pembangkitan. Pada penelitian ini, *energy storage* diteliti lebih jauh dengan mempertimbangkan kapasitas baterai serta *discharging* pada

sebuah sistem *microgrid*. Dengan menentukan biaya dari *grid* dan *discharging* baterai yang berbeda. Dari penelitian ini, diharapkan didapatkan biaya pembangkitan yang lebih murah dari sisi penyedia tenaga listrik serta didapatkan keuntungan dari sisi pemilik *energy storage* skala rumah tangga. Metode yang digunakan untuk optimasi sistem tersebut adalah *Mixed Integer Linear Programming*.

## 1.2 Permasalahan

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana menentukan kapasitas energi surya untuk memenuhi kebutuhan beban saat kondisi pembebanan.
2. Bagaimana mengimplementasikan metode *Mixed-Integer Linear Programming* untuk perhitungan pembebanan paling optimum pada *photovoltaic system* terintegrasi *energy storage*.
3. Bagaimana menentukan pembebanan optimal setiap unit pembangkit untuk memenuhi kebutuhan beban.
4. Bagaimana penjadwalan keadaan *energy storage* dengan mempertimbangkan kondisi baterai dan kondisi beban dari Grid (*peak session* dan *low session*) saat terjadi pembebanan.

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Perhitungan kapasitas energi surya hanya mempertibangkan kebutuhan beban dan langganan daya kWh meter PLN.
2. Sistem kelistrikan dalam keadaan stabil.
3. *Power unit* yang digunakan adalah grid PLN dan *photovoltaic system* dengan *energy storage*.
4. *Energy storage* yang digunakan adalah jenis *lead acid battery*.
5. Pada penelitian ini sistem tidak dipergunakan untuk menjual *excess power*.
6. Rugi umur baterai dan rugi inverter diabaikan.
7. Tidak memperhatikan peralatan elektronika daya.
8. Simulasi menggunakan *software MATLAB*.
9. Perangkat keras belum bisa mengatur arus supply dari grid PLN atau *photovoltaic system* dengan *energy storage*.

## 1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengimplementasikan perhitungan untuk menentukan kapasitas energi surya yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan beban saat pembebanan.
2. Mengimplementasikan metode *Mixed Integer Linear Programming* untuk perhitungan pembebanan paling optimal pada sistem *microgrid* terintegrasi *energy storage*.
3. Mendapatkan pembebanan optimal setiap unit pembangkit untuk memenuhi kebutuhan beban.
4. Mendapatkan penjadwalan keadaan *energy storage* dengan mempertimbangkan kondisi beban puncak dan tidak.
5. Mendapatkan penjadwalan keadaan *energy storage* dan *grid* PLN dengan mempertimbangkan biaya *grid* PLN dan *discharging energy storage*.

## 1.5 Metode Penelitian

Berikut adalah tahapan dalam pengerjaan tugas akhir ini;

### 1. Studi literatur

Studi literatur dilakukan berdasarkan pada buku atau jurnal referensi yang berkaitan dengan *photovoltaic engineering system*, *energy storage*, *microgrid*, *smart grid*, dan *mixed integer linear programming*.

### 2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk mendapatkan parameter-parameter yang dibutuhkan, yaitu data komponen *photovoltaic system*, *energy storage*, harga energi listrik dari PLN, harga *discharging* baterai, dan profil pembebanan selama 24 jam dengan interval satu jam. Data unit pembangkit terdiri dari data PLN sebagai *grid* dan data *photovoltaic system* dengan *energy storage* sebagai *microgrid*.

### 3. Perancangan Program

Program dirancang menggunakan *software* Matlab dengan mengaplikasikan *Mixed Integer Linear Programming*

berdasarkan permasalahan dan batasan yang ada, sedangkan aplikasi berbasis web menggunakan platform perangkat lunak Node.js, dan pada sisi hardware digunakan bahasa C untuk memprogram perangkat keras *particle photon*.

#### 4. Simulasi dan Analisis

Simulasi dilakukan dengan membuat studi kasus. Studi kasus kombinasi antara kondisi energy storage dan harga pembangkitan *grid* dan *photovoltaic system*. Kondisi saat *energy storage* diklasifikasikan berdasarkan kapasitas baterai (kurang dari 20%, diantara 20-50%, dan diatas 50%). Klasifikasi harga diklasifikasikan ketika *grid* lebih mahal, *photovoltaic* lebih mahal, harga sama, dan harga fluktuatif.

#### 5. Penyusunan Laporan

Penulisan laporan dilakukan setelah keempat tahap-tahap tersebut telah dilakukan. Penulisan laporan dilakukan berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan.

### 1.6 Sistematika Penulisan

Laporan tugas akhir ini disusun berdasarkan sistematika sebagai berikut:

|         |  |
|---------|--|
| BAB I   | PENDAHULUAN<br>Bab ini menjelaskan tentang latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan, metode penelitian, dan relevansi.                |
| BAB II  | TINJAUAN PUSTAKA<br>Bab ini mengupas tentang pendjadwalan peralatan dan sumber energi menggunakan <i>Mixed Integer Linear Programming (MILP)</i> . |
| BAB III | DESAIN SISTEM MANAJEMEN ENERGI UNTUK PENJADWALAN PERALATAN DAN SUMBER ENERGI SKALA RUMAH TANGGA MENGGUNAKAN MIXED INTEGER LINEAR PROGRAMMING       |

|        |  |
|--------|--|
|        | Bab ini berisi tentang penerapan metode <i>Mixed-Integer Linear Programming</i> pada skala rumah tangga dengan <i>energy storage</i>   |
| BAB IV | SIMULASI DAN ANALISIS  |
|        | Bab ini berisi hasil dari simulasi aliran manajemen energi skala rumah tangga yang memiliki <i>photovoltaic system</i> dengan <i>energy storage</i> menggunakan <i>Mixed Integer Linear Programming</i> pada studi kasus yang berbeda. |
| BAB V  | PENUTUP  |
|        | Bab ini berisi kesimpulan dan saran. Kesimpulan diperoleh dari hasil pembahasan yang telah dilakukan dan menjawab permasalahan yang ada. Saran adalah rekomendasi untuk penelitian selanjutnya.  |

## 1.7 Relevansi

Penulisan laporan tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat, yaitu:

1. Sebagai acuan dalam pengaplikasian pembebanan pembangkit yang ekonomis pada *photovoltaic system* dengan *energy storage*.
2. Sebagai acuan dalam penggunaan *energy storage* untuk mendapatkan keuntungan bagi pemilik *energy storage*.
3. Sebagai referensi untuk pengembangan penelitian terkait masalah serupa.



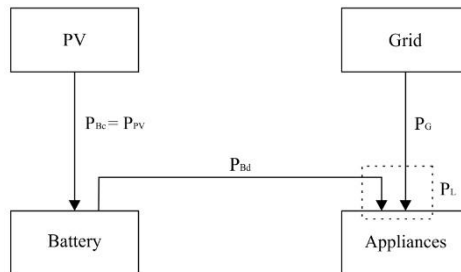
## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Home Power Management System

Home Power Management System (HPMS) atau sistem manajemen energi skala rumah tangga terdiri dari peralatan elektronik, jaringan komunikasi, *main controller*, dan sumber energi listrik. *Main controller* akan mengatur dari sisi beban dan sisi suplai untuk mendapatkan konsumsi energi paling efisien, oleh karena itu akan didapatkan biaya listrik paling murah. Beberapa penelitian HPMS telah dilakukan, pada [5] menggunakan metode *particle swarm optimization* digunakan untuk memprediksi energi yang dibutuhkan dan menjadwalkan peralatan elektronik. Sedangkan [6] peralatan elektronik dijadwalkan sesuai urutan prioritas dengan batasan konsumsi daya maksimal yang ditetapkan, pada [7] konsumsi energi dijadwalkan menggunakan pendekatan *game theoretic* untuk mengurangi biaya energi listrik dan beban puncak, pada [8] *mix integer linear programming* digunakan untuk menjadwalkan peralatan elektronik untuk mendapatkan biaya energi listrik paling hemat, dan pada [9] metode Q -learning dilakukan untuk mempelajari kebiasaan penggunaan energi listrik.

#### 2.2 Power Units



**Gambar 2. 1** Aliran daya

Perusahaan Listrik Negara (PLN) berperan sebagai *grid* dalam sistem *microgrid* skala rumah tangga pada tugas akhir ini. PLN dapat melayani daya yang tak terbatas. Biaya pembangkitan PLN diasumsikan

sebagai harga listrik yang dijual ke pelanggan. Setiap hari PLN diasumsikan akan mengeluarkan harga energi listrik yang dijual setiap jam dalam 24 jam dengan interval waktu satu jam. Sedangkan *Photovoltaic system* dengan *energy storage* berfungsi sebagai sistem energi mandiri pada skala rumah tangga.

Hubungan antara unit daya dan beban pada gambar 2.1 dapat tulis dengan persamaan 2.1

$$P_G(t) + P_{PV}(t) + P_{Bd}(t) = P_L(t) + P_{Bc}(t) \quad (2.1)$$

Pada sisi kiri persamaan adalah pemodelan dari sisi sumber, sedangkan pada sisi kanan adalah pemodelan sisi beban. Dimana:

- $P_G(t)$  = Daya yang mengalir dari *grid* ke beban
- $P_{PV}(t)$  = Daya yang mengalir dari PV ke *battery*
- $P_{Bd}(t)$  = Kondisi *discharging*, saat daya mengalir dari *battery* ke beban
- $P_L(t)$  = Daya yang dikonsumsi oleh beban
- $P_{Bc}(t)$  = Kondisi *charging*, saat daya mengalir dari PV ke *battery*

*Grid* PLN adalah komponen yang fundamental dalam sistem ini. *Grid* PLN berfungsi sebagai sumber energi listrik yang dapat mensuplai daya tidak terbatas, daya yang dapat disuplai *grid* ke sistem secara spesifik ada pada persamaa 2.2

$$P_G(t) \leq P_{lim}^G(t), \forall t \in \mathcal{T} \quad (2.2)$$

Sedangkan daya yang dapat disuplai oleh *photovoltaic system* dengan *energy storage* secara spesifik ada pada persamaan 2.3

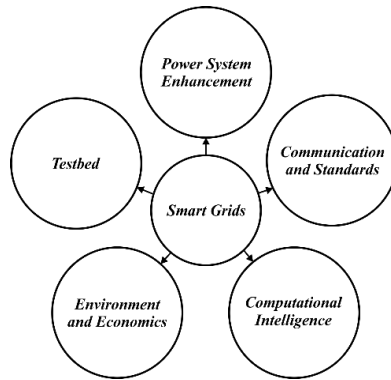
$$P_{Bd}(t) \leq P_{lim}^{Bd}(t), \forall t \in \mathcal{T} \quad (2.3)$$

*Grid* dan *photovoltaic system* dengan *energy storage* dapat mensuplai sistem dalam waktu yang bersamaan. Secara spesifik dapat ditulis dalam persamaan 2.4

$$x^G(t) \leq x^{Bd}(t), \forall t \in \mathcal{T} \quad (2.4)$$

Dimana  $x^G \in \{0; 0.1; 0.2; 0.3; 0.4; 0.5; 0.6; 0.7; 0.8; 0.9; 1\}$  dan  $x^{Bd} \in \{0; 0.1; 0.2; 0.3; 0.4; 0.5; 0.6; 0.7; 0.8; 0.9; 1\}$  adalah variabel *mixed integer decision* berapa besar limit daya yang disuplai ke sistem.

## 2.3 Smart Grid



**Gambar 2. 2** Konsep *smart grid*

*Smart Grids* didefinisikan sebagai penggunaan sensor-sensor, protokol komunikasi, kemampuan perhitungan komputasi, dan kontrol dalam sebuah sistem yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas sistem tenaga listrik. Sistem grid biasa dapat menjadi cerdas dengan menerapkan kecerdasan dengan bantuan sensor dan protokol komunikasi untuk saling memberi umpan balik dan penyesuaian kontinu terhadap sistem tenaga listrik. Sistem *smart grids* memungkinkan pembangkit, transmisi, distribusi, penyimpanan daya, dan konsumen untuk saling memberikan umpan balik, dengan bantuan algoritma yang dimasukkan dalam sistem *smart grids* sistem tenaga listrik mampu meningkatkan keandalan, mengoptimalkan penggunaan energi, menghemat biaya operasional, dan mengurangi pencemaran terhadap lingkungan.

**Tabel 2.1** Perbedaan *smart grid* dengan *conventional grid*

| Smart Grid             | Conventional Grid      |
|------------------------|------------------------|
| Self-Healing           | Manual Restoration     |
| Digital                | Electromechanical      |
| Pervasive Control      | Limited Control        |
| Distributed Generation | Centralized Generation |
| Adaptive and Islanding | Failures and Blackouts |
| Network                | Hierarchical           |
| Sensor Throughout      | Few Sensors            |
| Remote Check/Test      | Manual Check/Test      |
| Self-Monitoring        | Blind                  |
| Many Customer Choices  | Few Customer Choices   |

*The Energy Independence and Security Act of 2007 (EISA)* menggambarkan *smart grids* sebagai sistem yang dapat memprediksi, beradaptasi, dan merekonfigurasi sistemnya menjadi lebih efisien dan handal. Konsep *smart grids* di ilustrasikan pada gambar 2.2

- ***Computational Intelligence***

*Computational Intelligence* atau kecerdasan komputasional adalah sebuah algoritma yang digunakan untuk perhitungan analitik dalam sistem *smart grids* seperti *heuristic*, *evolution programming*, *decision support tools*, dan *adaptive optimization techniques*.

- ***Power System Enhancement***

*Smart grids* dipercaya sebagai sistem yang dapat membantu dalam perkembangan dan transisi ke energi terbarukan dan mampu meningkatkan keandalan sebuah sistem tenaga listrik.

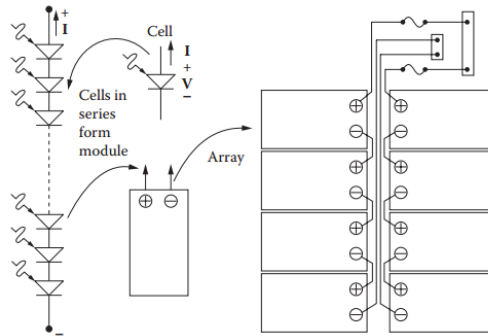
- ***Communication and Standards***

Otomasi *smart grid* yang canggih mampu menghasilkan sejumlah data operasional yang luas dengan pengambilan data yang cepat, algoritma dalam sistem *smart grids* akan membantu menjadikan sistem tenaga listrik lebih adaptif dan mampu memprediksi kemungkinan yang akan terjadi dalam sistem. Selanjutnya aturan baru akan diperlukan untuk pengaturan, pengoperasian, dan jaringan pemasaran dalam sistem tenaga listrik.

- ***Environment and Economic***

*Smart grids* akan memungkinkan keterlibatan pelanggan, meningkatkan pembangkitan, dan transmisi dengan alat yang memungkinkan untuk meminimalkan kerentanan, ketahanan, kecukupan dan kualitas daya sistem tenaga listrik.

## 2.4 Photovoltaic System

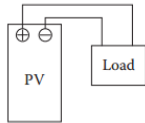


**Gambar 2.3** Cells, Modules, dan Arrays

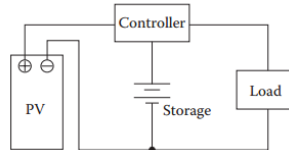
Sistem *Photovoltaic* (PV) dirancang oleh beberapa sel PV. Sel PV biasanya menghasilkan daya kurang dari 5 W pada tegangan sekitar 0.5 V dc, Sel PV harus tersusun dengan konfigurasi seri atau paralel untuk membangkitkan daya yang cukup besar. Gambar GGGG menggambarkan konfigurasi sel PV menjadi modul PV, dan modul PV menjadi *PV arrays* (susunan PV). Modul PV memiliki daya output yang berbeda tergantung kebutuhan yang diinginkan. karena PV hanya bekerja ketika terkena radiasi foto matahari, maka pada beberapa kasus sistem PV membutuhkan penyimpanan daya agar dapat menyimpan energi surya dan dapat digunakan ketika PV tidak lagi terkena radiasi foto matahari. Ketika penyimpanan daya diterapkan dalam sistem PV maka diperlukan standar aturan sistem tegangan dan arus yang dapat disinkronkan dengan kapabilitas sistem PV.

Ketika sistem PV diintegrasikan dengan penyimpanan daya maka sistem memerlukan *charge controller* agar penyimpanan daya dapat menghindari keadaan *overcharged* dan *overdischarged*. Sistem PV juga dapat diinterkoneksi dengan *utility grid* atau sumber listrik dari PLN. PV sistem dapat mengirim daya lebih kepada *grid* atau dapat menerima

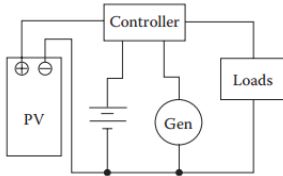
daya dari *grid* ketika sistem PV tidak membangkitkan daya sesuai yang dirancang. Gambar GGGG menunjukkan beberapa tipe sistem PV yang biasa digunakan. Contoh Sistem PV:



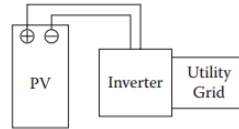
**Gambar 2. 4** PV dikoneksikan langsung ke beban



**Gambar 2. 6** PV yang dilengkapi dengan kontroller dan *energy storage*



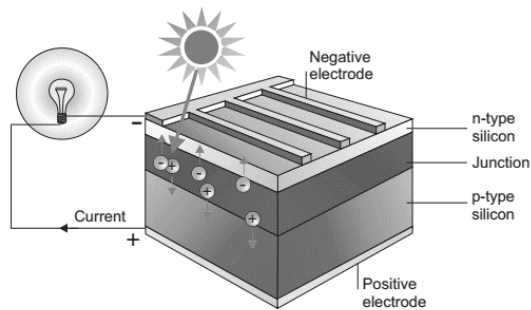
**Gambar 2. 5** PV dilengkapi dengan *energy storage* dengan *backup generator*



**Gambar 2. 7** PV dikoneksikan langsung ke *grid*

### 2.3.1 Sel PV

Sel surya berbahan silikon terdiri dari dua layer semikonduktor Tipe P dan Tipe N. ketika sinar matahari menyinari permukaan sel surya, electron akan terlepas dari pita valensi sehingga mengakibatkan terbentuknya lubang (*hole*) disekitar atom dengan muatan positif. Daerah semikonduktor yang memiliki elektron bebas disebut dengan semikonduktor tipe N yang akan bertindak sebagai pendonor elektron dan bersifat negatif. Sedangkan tipe P yang bertindak sebagai penerima elektron adalah daerah semikonduktor yang bersifat positif. Pada persimpangan daerah pada layer Tipe P dan Tipe N yaitu *PN Junction* akan timbul energi yang mendorong elektron dan *hole* untuk bergerak berlawanan arah. *Hole* akan bergerak menjauhi sisi positif sedangkan begitu juga dengan elektron akan menjauhi sisi negatif. Jika diberikan sebuah beban seperti perangkat listrik, maka pada persipangan daerah *PN Junction* akan timbul arus listrik.

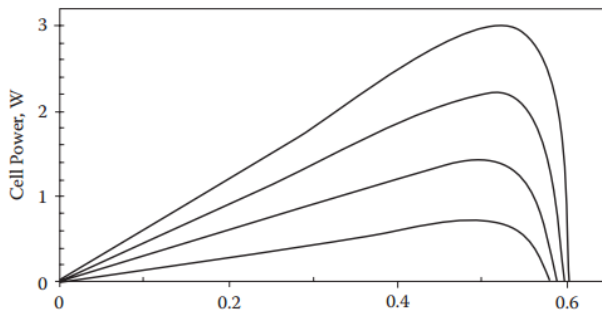


**Gambar 2. 8 Sel PV**

### 2.3.2 Iradiasi Matahari

Iradiasi matahari adalah level radiasi matahari, sedangkan sinar matahari merupakan spektrum foton yang terdistribusi dalam berbagai rentangan energi. Dimana foton yang memiliki energi lebih besar daripada *band gap* (titik ambang batas) dapat melepaskan elektron dari pita valensi sehingga dapat menghasilkan energi listrik. Sedangkan foton dengan energi yang lebih sedikit dari *band gap* (titik ambang batas) tidak akan bisa mebebaskan elektron dari pita valensi.

Sel surya ideal yang memiliki efisiensi 100% akan menerima semua spektrum cahaya dan mengkonversikan semuanya ke bentuk energi listrik. Dalam kenyataannya, teknologi sel surya saat ini hanya memiliki efisiesnsi antaraa 6%-20 % sehingga hanya sebagian dari spektrum akan diterima oleh sel surya tergantung dari efisensi sel PV.



**Gambar 2. 3 Power vs Voltage**

Dari kurva karakteristik I-V pada gambar 2.8 dapat menjelaskan bahwa daya yang dibangkitkan oleh sel PV *linear* dan sangat dipengaruhi oleh suhu dan radiasi sinar matahari ke bumi. Untuk dapat mengetahui dengan tepat energi yang mampu diserap oleh panel surya maka harus diketahui iradiansi dari matahari. Pada gambar 2.8 terlihat pengaruh iradiasi terhadap daya dan tegangan output dari panel surya di mana, iradiasi akan berpengaruh sedikit terhadap tegangan yang dihasilkan. Sedangkan pada gambar 2.9 menjelaskan daya terbangkit yang dipengaruhi oleh iradiasi matahari.

Kurva karakteristik I-V sel PV juga sensitive dengan temperatur, *open-circuit* tegangan dari sel PV berbahan silikon kristalin ideal akan berkurang 2.3 mV/°C ketika suhu naik. Pada umumnya sel PV mengubah kurang dari 20% dari iradiasi menjadi energi listrik. Sisanya akan diubah menjadi panas, maka sel PV diharapkan untuk bekerja pada suhu lingkungannya. Jika sel PV adalah bagian dari sistem yang dipusatkan, maka sel PV akan lebih panas, hasilnya kenaikan suhu akan mengurangi performa dari sel PV.

## 2.5 Energy Storages

*Energy storages* atau menyimpan energi merupakan komponen penting dalam sistem *microgrid*. Penyimpanan energi digunakan saat pembangkitan energi tidak konstan. Saat ini telah banyak teknologi *rechargeable batteries* yang cocok untuk sistem PV. *Lead-acid battery* merupakan jenis baterai ekonomis yang paling banyak digunakan untuk sistem PV. Bentuk penyimpanan energi dipilih berdasarkan karakteristik kegunaannya. Beberapa karakteristik yang mempengaruhi pemilihan penyimpanan energi adalah respon waktu, efisiensi, dan *power density*. Terdapat beberapa jenis baterai yang biasa digunakan untuk sistem PV seperti:

- *Lead-Acid Storage Battery*
- *Nickle Cadmium Storage Battery*
- *Hydrogen Storage*
- *Fuel Cell*

*Energy storage* yang digunakan pada penelitian ini adalah baterai yang memiliki kemampuan *charging* dan *discharging*. *Charging* merupakan proses pengisian baterai sedangkan *discharging* merupakan proses pengosongan baterai. Dengan kemampuan baterai *energy storage*



dapat digunakan untuk menyimpan kelebihan daya dari system PV saat beban dari Grid dalam keadaan periode tinggi (*on peak*). *Energy storage* dimodelkan sebagai kondisi beban saat *charging*. Sedangkan *grid* PLN dimodelkan saat proses *discharging*. Seiring perkembangan teknologi dan liberalisasi pasar, *energy storage* dapat digunakan untuk menghasilkan keuntungan. Dengan menetapkan kondisi *discharging* lebih maha daripada *charging*, pemilik *energy storage* dapat mendapat keuntungan. Untuk menyimpan daya dari PV dibutuhkan *energy storage* atau penyimpan daya, pada penelitian ini baterai digunakan untuk menyimpan daya dari PV. Battery yang digunakan adalah battery dengan level tagangan 12 V. Pada baterai ada satu parameter penting yang disebut dengan *State of Charge* (SOC). SOC didefinisaan sebagai perbandinagn antara kondisi kapasitas baterai dengan kapasitas total baterai sehingga dapat dimodel pada persamaan 2.5

$$SOC(t) = \frac{E^B(t)}{E_{Cap}^B(t)} \quad 2.5$$

$E^B(t)$  = Kondisi energi yang tersimpan dalam baterai

$E_{Cap}^B(t)$  = Total kapsitas energi yang mampu disimpan baterai

$SOC(t)$  = *State of Charge* baterai dalam selang waktu  $t$

$SOC(t)$  baterai dapat dikalkulasi dengan persamaan matematika pada persamaan 2.6

$$SOC(t) = SOC(t-1) + \frac{P_{Bc}(t)\eta_c\Delta t}{E_{Cap}^B(t)} - \frac{P_{Bd}(t)\Delta t}{E_{Cap}^B(t)\eta_{dc}} \quad 2.6$$

$\eta_c$  = efisiensi *charging*

$\eta_{dc}$  = efisiensi *discharging*

Pada penelitian ini baterai memiliki mode operasi yang dimodelkan pada persamaan 2.7

$$SOC_{min} < SOC(t) < SOC_{max}, \forall t \in \mathcal{T} \quad 2.7$$

$SOC_{min}$  dan  $SOC_{max}$  adalah batas minimum dan maksimum operasi baterai, pada penelitian ini  $SOC_{min}$  adalah 20% dan  $SOC_{max}$  adalah 99%. Dimana mode operasi yang ada dibagi menjadi tiga kondisi SOC.

$$SOC(t) < SOC_{min}, \forall t \in \mathcal{T} \quad 2.8$$

$$SOC_{min} < SOC(t) < (0.5)SOC_{max} \forall t \in \mathcal{T} \quad 2.9$$

$$SOC(t) > (0.5)SOC_{max} \forall t \in \mathcal{T} \quad 2.10$$

Baterai dapat mensuplai daya ke beban secara maksimal menurut persamaan 2.11

$$P^{Bd}(t) \leq P_{max}^{Bd}(t), \forall t \in \mathcal{T} \quad (2.11)$$

## 2.6 Main Controller

*Main Controller* adalah otak dari sistem *Home Power Management System* (HPMS) terdiri dari protokol komunikasi dan kontroller. *Main controller* akan mengolah data dan informasi mengenai beban, sel PV, dan *grid* PLN.

## 2.7 Electronic Appliances

Dalam sistem HPMS yang dikembangkan *electronic appliances* didefinisikan sebagai peralatan listrik pintar yang dapat beroperasi berdasarkan perintah dari pengguna. Pada Tugas Akhir ini peralatan listrik akan dibagi menjadi tiga kelas yaitu *uncontrollable*, dan *controllable*.

- *Uncontrollable Appliances*: peralatan yang dapat di *on-off* statusnya (jam operasi) berdasarkan keinginan *user*. Untuk memenuhi kenyamanan *user*, tidak hanya waktunya operasinya saja tapi mode programnya juga bergantung langsung dari apa yang dipilih oleh *user*. TV dan computer adalah contoh dari peralatan elektronik yang masuk kelas *uncontrollable appliances*.
- *Controllable Appliances*: peralatan yang beroperasi dapat dikendalikan dan dijadwalkan. Peralatan yang termasuk kelas ini seperti lampu dan *air conditioner*.

## 2.8 Mixed Integer Linear Programming

*Mixed Integer Linear Programming* merupakan salah satu alternatif pemecahan masalah manajemen energi listrik. *Mixed Integer Linear Programming* dimungkinkan optimasi dilakukan menggunakan variabel berbentuk integer. Karena pemodelan matematis dari *energy storage* berhubungan dengan keadaan *charging/discharging* yang dimodelkan dengan angka biner, maka metode ini sesuai untuk diterapkan dalam memecahkan masalah tersebut.

*Mixed Integer Linear Programming* menyelesaikan permasalahan *linear* dan memodelkannya ke dalam sebuah fungsi objektif. Metode ini mengoptimasi fungsi objektif dan mencari nilai variabel optimasi ( $x$ ) dengan memenuhi batasan persamaan (*equality constraint*) dan batasan pertidaksamaan (*inequality constraint*) yang *linear*. Pada metode ini, beberapa nilai  $x$  berbentuk bilangan bulat dan integer. Metode ini menghasilkan nilai  $x$  yang menghasilkan fungsi objektif dengan nilai minimum. Fungsi yang merupakan persamaan standar pada *Mixed Integer Linear Programming* adalah sebagai berikut:

1. Fungsi Objektif

$$F(x) = \min_x f^T x \quad (2.12)$$

2. Batasan Persamaan Linier

$$A_{eq}x = b_{eq} \quad (2.13)$$

3. Batasan Pertidaksamaan Linier

$$Ax \leq b \quad (2.14)$$

4. Batasan *Decision Variable Bounds*

$$l_b \leq x \leq u_b \quad (2.15)$$

5. Batasan Integer

$$x_i \in \mathbb{Z} \quad (2.16)$$

6. Batasan Biner

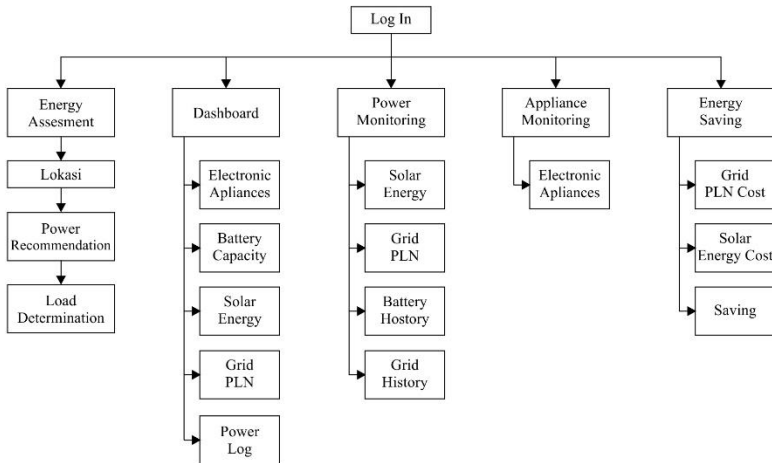
$$x_i \in \mathbb{Z} \{0,1\} \quad (2.17)$$

*[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]*

### BAB 3

## DESAIN SISTEM MANAJEMEN ENERGI UNTUK PENJADWALAN PERALATAN DAN SUMBER ENERGI LISTRIK SKALA RUMAH TANGGA MENGUNAKAN MIXED INTEGER LINEAR PROGRAMMING (MILP)

### 3.1 *Arsitektur Home Power Management System (HPMS)*



**Gambar 3. 1** Arsitektur sistem

HPMS pada tugas akhir ini terdiri dari beberapa menu yaitu *solar assesmnet*, *dashboard*, *power monitoring*, *appliances monitoring*, dan *energy saving*.

- ***Energy Assesment***

Menu *solar assesment* digunakan untuk menghitung kapasitas enerrgi listrik yang diperlukan oleh beban perumahan. Pada menu ini user akan memilih lokasi untuk mendapat potensi iradiasi

matahari yang berada didatabase. Setelah itu user akan memilih kWh meter yang digunakan.

**Tabel 3. 1** Tabel kWh meter PLN

| No | Meteran (VA) |
|----|--------------|
| 1  | 450          |
| 2  | 900          |
| 3  | 1300         |
| 4  | 2200         |
| 5  | 3500         |
| 6  | 4400         |
| 7  | 5500         |
| 8  | 6600         |

Setelah memilih kapasitas kWh user akan mendefinisikan beban yang digunakan pada menu *edit appliances switch*.

- ***Dashboard***

Pada menu dashboard berisikan tentang informasi umum tentang HPMS, pada menu ini user dapat melihat jumlah peralatan yang sedang menyala, daya yang dibangkitkan oleh PV, daya dari *grid* PLN, dan *power log* untuk melihat daya dari PV dan *grid* tiap waktu.

- ***Power Monitoring***

Menu ini user dapat melihat daya yang dibangkitkan oleh PV dan *grid* PLN dan *record* pergantian sumber antara PV dan *grid* PLN.

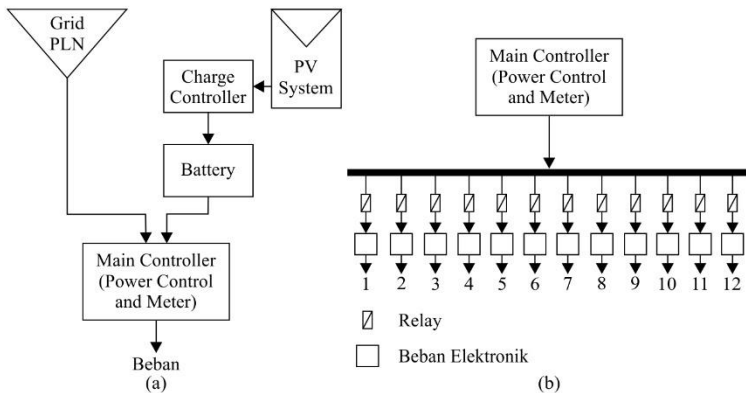
- ***Appliances Monitoring***

*Appliances Monitoring* digunakan untuk memonitoring, mengkontrol, dan penjadwalkan beban yang terintegrasi dalam sistem HPMS.

- **Energy Saving**

Pada halaman ini user dapat melihat total biaya untuk *grid* PLN, PV, dan total pehematan biaya untuk penggunaan energi listrik.

### 3.2 Desain Sistem



**Gambar 3. 2** (a) Skema power control dan (b) skema appliances control

Pada penelitian ini terdapat dua buah main controller (MC). MC pertama digunakan untuk mengambil dan mengolah data analog dari sensor arus dan tegangan pada *grid* dan baterai serta mengontrol relay pada *grid* dan baterai. Sedangkan MC kedua adalah MC pada sisi beban yang digunakan untuk mengatur dan mengontrol beban. Prosedur pada penelitian ini dijelaskan dalam beberapa langkah berikut:

1. Penjadwalan beban oleh pengguna.
2. Pengkondisian sinyal analog ke sinyal digital
3. Sistem memperoleh data kapasitas baterai dan informasi beban.
4. Pada jam 00.00 sistem akan mengumpulkan informasi beban dan harga energi listrik pada hari tersebut.

5. Sistem melakukan perhitungan berdasarkan algoritma yang diberikan untuk mendapatkan penjadwalan *power resources* paling hemat.

Sistem pada penelitian ini terdiri dari dua sumber listrik yaitu sumber listrik 1 fasa dari PLN dan sumber listrik dari sel surya. Sistem tenaga surya dilengkapi charge controller, baterai sebagai energi storage dan inverter sebagai converter dari arus dc ke arus ac.

MC pertama menggunakan mikrokontroller particle photon dengan catu daya 5 volt, dua buah sensor arus ACS712, dua buah voltage divider, dan sebuah Current Transformer (CT), dan dua buah relay. MC kedua menggunakan mikrokontroller particle photon dengan catu daya 5 volt dan 12 relay. Pada sistem ini juga digunakan Human Machine Interface (HMI) yang menggunakan Raspberry Phi Model 3 B yang digunakan sebagai mini personal computer (PC).

### **3.2.1 Sensor Arus ACS712**

Allegro ACS712 merupakan modul sensor arus AC atau DC, secara umum Allegro ACS712 adalah sensor analog yang biasanya digunakan untuk mengontrol motor, switch mode power supplies, dan proteksi arus lebih. Modul sensor ini memiliki keunggulan dalam pengukuran arus dengan ketepatan tinggi karena didalamnya terdapat rangkaian low offset, rangkaian linear hall yang terbuat dari tembaga, terintegrasi dengan rangkaian operational amplifiers tambahan untuk meningkatkan sensitivitas, memiliki variable resistor yang berfungsi agar sensor mampu mengukur arus kecil dan bandwidth 80 kHz. Arus yang mengalir melalui tembaga menghasilkan medan magnet lalu dikonversikan oleh Hall IC menjadi tegangan proporsional.

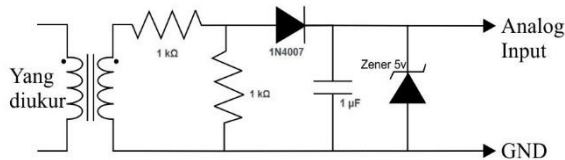
Modul sensor ACS712 dirancang menggunakan IC CMOS OPA344 sebagai operational amplifier untuk meningkatkan akurasi arus. IC CMOS OPA344 merupakan unity gain stable. IC CMOS OPA344 beroperasi pada catu daya 2.5 V sampai 5.5 V.

Pada penelitian ini, modul ACS712 digunakan untuk mengukur arus root mean square yang masuk dari grid PLN, total arus dari peralatan elektronik pada sisi konsumen, dan arus dc pada baterai sebagai energy storage. Modul ACS712 dihubungkan seri, ada tiga buah modul ACS712



yang digunakan, alasan menggunakan modul ACS712 ini adalah karena memiliki distorsi pengukuran arus yang lebih sedikit daripada menggunakan transformator arus.

### 3.2.2 Rangkaian Pengkondisian Tegangan



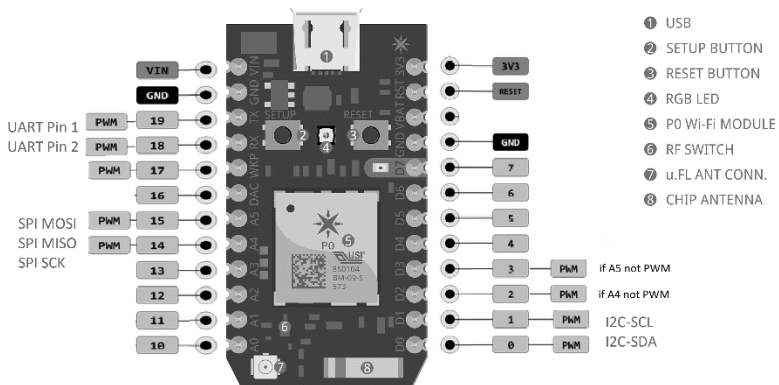
**Gambar 3. 3** Rangkaian pengkondisian tegangan

Sinyal tegangan yang terukur adalah sinyal tegangan arus AC, pada penelitian ini mikrokontroler yang digunakan adalah particle photon, particle photon tidak dapat membaca sinyal tegangan AC oleh karena itu sinyal tegangan AC harus dikonversikan menjadi tegangan DC, tegangan yang diukur adalah tegangan AC 220, sedangkan particle photon memiliki tegangan operasi 5 Volt DC, oleh karena itu tegangan harus diturunkan menggunakan trafo step down dan dikonversikan menjadi tegangan DC.

Pada penelitian ini digunakan trafo step down 220 ke 6 Volt AC, untuk mendapatkan tegangan DC digunakan diode half wave rectifier, kapasitor digunakan untuk menstabilkan tegangan dan diode Zener digunakan sebagai regulator tegangan agar tetap 5 Volt. Karena trafo step down yang digunakan 220 ke 6 Volt maka diperlukan resistor untuk menurunkan tegangan menjadi 5 Volt, maka digunakan pembagi tegangan menggunakan 2 resistor 1k.

5 Volt pada input analog mengacu pada nilai 1023 bit pada particle photon. 220 AC (root mean square) sama dengan 311 V (peak). 1 bit sama dengan  $311/1023$ . Maka tegangan yang terbaca sama dengan pembacaan sensor analog dikali  $311/1023$ .

### 3.2.3 Particle Photon



**Gambar 3. 4** Pin out dari mikrikontroller particle photon

Particle Photon merupakan perangkat keras yang berfungsi untuk mengembangkan sistem Internet of Things yang terdiri dari mikrokontroller ARM Cortex M3 yang dilengkapi dengan chip Broadcom Wifi yang sangat kecil yang disebut dengan P0 (P-Zero). Particle Photon terdiri dari 24 pin yang terdiri dari enam pin analog input dan delapan buah digital input.

Particle photon tersusun dari delapan buah komponen utama yaitu sebagai berikut:

1. USB port yang berfungsi sebagai media yang menirama arus maupun daya sekaligus sebagai media komunikasi dengan desktop.
2. Setup Button yang digunakan sebagai tombol untuk melakukan setup awal untuk pengguna dan Eifi yang akan digunakan oleh Photon dengan mobile device pengguna.
3. Reset button yang digunakan untuk menggtati data Wifi dan pengguna sebelumnya
4. RGB led yang berfungsi sebagai indikator. Warna cyan mendandakan photon sedang menciba terhubung dengan internet, marna mgenta menandakan photon dedang mekakukan

update firmware, warna hijau menandakan photon sedang mencari koneksi wifi, warna jingga menandakan photon dalam DFU mode (Device Firmware Upgrade), dan warna merah menandakan terjadi error pada photon.

5. P0 Wifi module yang digunakan sebagai perangkat yang menghubungkan photon dengan device lainnya.
6. RF Switch atau radioon Frekuensi Switch merupakan perangkat yang mengoptimalkan efisiensi dan sensitivitas komunikasi Wifi.
7. u.FL Ant Conn yang digunakan untuk menyambungkan antenna yang kita gunakan (antenna tambahan)
8. Chip Antenna yang menjadi antenna dari photon.

Pada penelitian ini particle photon dipilih karena memiliki keunggulan dibanding mikrokontroler lain seperti ukurannya yang kecil tapi disusun dengan inti ARM Cortex M3 yang powerful, dilengkapi dengan modul wifi yang tertanam, terdapat input analog dan digital, serta mendukung MQTT sebagai protokol komunikasi. Ringkasnya particle photon memiliki fitur-fitur sebagai berikut:

- Particle PØ Wi-Fi module: Broadcom BCM43362 Wi-fi chip, 802.11 b/g/n Wi-Fi, STM32F205RGY6 120Mhz ARM Cortex M3, 1MB flash 128KB RAM
- On-board RGB status LED
- 18 Mixed-signal GPIO and advanced peripherals
- Open source design'
- Real-time operating system (FreeRTOS)
- Soft AP setup
- FCC, CE and IC certified

### ***3.2.4 Relay Module***

Relay adalah suatu komponen yang digunakan sebagai saklar penghubung atau pemutus untuk arus beban yang cukup besar, dikontrol oleh sinyal listrik dengan arus yang kecil. Dengan menggunakan relay, kabel yang menuju saklar tidak perlu kabel yang tebal, sebab arus yang terhubung ke saklar sangat kecil. Relay adalah saklar elektronik yang didasarkan atas elektrik dan mekanik. Kontrol elektrik diterapkan untuk

mendapatkan gerakan mekanik. Sebagai elektrik adalah komponen yang dikendalikan oleh arus. Pada dasarnya, relay terdiri dari lilitan kawat pada suatu inti besi lunak berubah dari magnet yang menarik atau menolak suatu pegas sehingga kontak pun menutup atau membuka.

Relay ini dapat digunakan sebagai switch untuk menjalankan berbagai peralatan elektronik. Kendali ON / OFF switch (relay), sepenuhnya ditentukan oleh nilai output sensor atau input dari mikrokontroler, yang setelah diproses Microcontroller akan menghasilkan perintah kepada relay untuk melakukan fungsi ON / OFF.

Berikut spesifikasi Relay shield yang digunakan:

- Voltase berjalan: 7 to 15V DC
- Konsumsi Tegangan: 150 mA min to 290 mA (at 9V DC)
- Relay Max Voltage: 250V AC
- Relay Max Voltage: 10 Amp 250V AC dibawah 2000 W
- Relay Max Current: 10 Amp di 125V AC

### **3.3 Penjadwalan Power Resources dengan Mixed Integer Linear Programming (MILP)**

#### **3.3.1 Mixed Integer Linear Programming (MILP)**

Untuk menyelesaikan permasalahan *Mixed Integer Linear Programming (MILP)* pada *MATLAB* terdapat beberapa fungsi *MILP* dengan integer variabel sebagai salah satu batasannya. Berikut adalah variabel *input*, *structure*, dan *output* pada *MILP*.

#### ***Input Arguments:***

1. **Aeq** adalah matriks yang berisi koefisien linear dari *equality constraints*.
2. **beq** adalah vector kolom yang berisi konstanta dari *equality constraints*.
3. **A** adalah matriks yang berisi koefisien linear dari *inequality constraints*.
4. **b** adalah vektor kolom yang berisi konstanta dari *inequality constraints*.

5. **lb** dan **ub** adalah vektor kolom dari batas bawah dan batas atas untuk menentukan variabel **x**.
6. **x0** adalah initial point, ditetapkan sebagai sebuah real array. Bilangan dari elemen pada x0 adalah sama dengan bilangan dari elemen f ketika f muncul. Sebaliknya, bilangannya adalah sama dengan bilangan dari kolom dari A atau Aeq dan mengubah sebuah array x0 menjadi sebuah vector x0 (:).

### 3.3.2 Fungsi Biaya

Informasi jadwal peralatan, kondisi sumber energi listrik, dan harga listrik akan dikalkulasi dengan *Mixed Integer Linier Programming* (MILP) dengan persamaan fungsi biaya pada persamaan 3.1 diaman  $C_G$ ,  $C_S$ , dan  $C_{CAP}$  adalah harga beli listrik dari *grid*, harga jual listrik ke *grid*, dan biaya investasi sistem PV.

$$\min \sum_{t=1}^T (P_G(t)C_G(t) - P_{Bd}(t)C_{PV}(t) + C_{CAP}(t))\Delta t \quad (3.1)$$

$P_G(t)$  = Daya yang disuplai oleh *grid* pada setiap waktu

$P_{Bd}(t)$  = Daya yang disuplai oleh *energy storage* pada setiap waktu

$C_G(t)$  = harga listrik dari *grid* pada setiap waktu

$C_{PV}(t)$  = harga listrik dari *photovoltaic system* pada setiap waktu

$C_{CAP}(t)$  = biaya investasi *photovoltaic system* setiap waktu

Pada penelitian ini akan muncul empat kemungkinan yaitu:

1. Baterai mampu mensuplai kebutuhan beban saat harga energi listrik  $P_G < P_S$
2. Baterai mampu mensuplai kebutuhan beban saat harga energi listrik  $P_G > P_S$
3. Baterai tidak mampu mensuplai kebutuhan beban saat harga energi listrik  $P_G < P_S$
4. Baterai tidak mampu mensuplai kebutuhan beban saat harga energi listrik  $P_G > P_S$

### 3.4 *Electronic Appliances*

Pada simulasi ini akan dicoba pada rumah dengan 12 perlatan energi listrik sebagai berikut:

**Tabel 3. 2** Profil beban

| No    | Nama Beban               | P (Watt) | Jam/Hari | kWh    |
|-------|--------------------------|----------|----------|--------|
| 1     | Lampu Kamar 1 Lt 1 (EA1) | 14       | 12       | 0.168  |
| 2     | Lampu Kamar 2 Lt 1 (EA2) | 14       | 12       | 0.168  |
| 3     | Lampu Kamar 2 Lt 1 (EA3) | 14       | 12       | 0.168  |
| 4     | Lampu Kamar 1 Lt 2 (EA4) | 10       | 12       | 0.12   |
| 5     | Lampu Kamar 1 Lt 1 (EA5) | 20       | 12       | 0.24   |
| 6     | Pompa (EA6)              | 600      | 2        | 1.2    |
| 7     | Kulkas (EA7)             | 120      | 24       | 2.88   |
| 8     | TV (EA8)                 | 125      | 6        | 0.75   |
| 9     | Setrika (EA9)            | 300      | 2        | 0.6    |
| 10    | Kipas Angin 1 (EA10)     | 100      | 7        | 0.7    |
| 11    | Kipas Angin 2 (EA11)     | 100      | 12       | 1.2    |
| 12    | Komputer (EA12)          | 260      | 7        | 1.82   |
| Total |                          | 1677     | 120      | 10.014 |

Baris adalah jam dari jam 1 ke 24, kolom adalah peralatan elektronik dari EA1 ke EA12

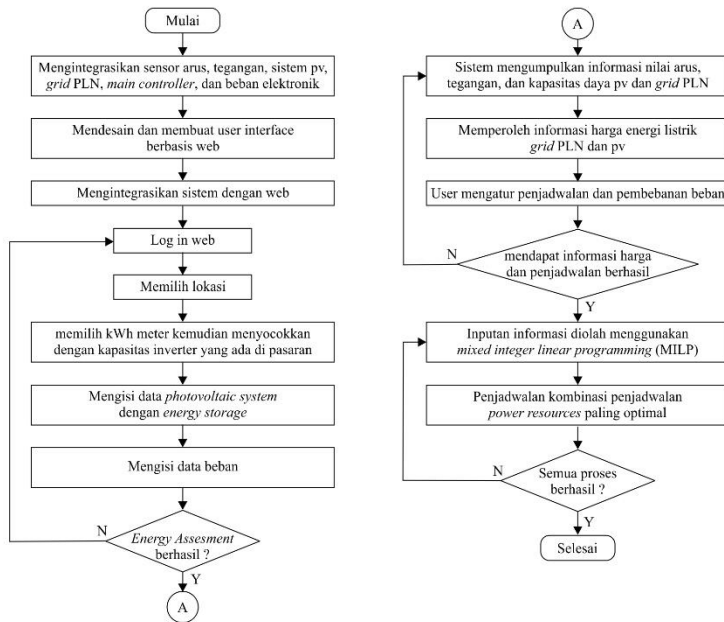
Pada simulasi ini terdapat beberapa kasus yang akan disimulasikan, kasus tersebut sebagai berikut:

- Harga energi listrik grid sama dengan energi listrik sel surya
- Harga energi listrik grid lebih murah 75% dari energi listrik energi surya
- Harga energi listrik grid lebih mahal 75% dari energi listrik energi listrik energi surya

Sedangkan untuk kondisi energy storage terdapat beberapa keadaan sebagai berikut:

- Energy Storage memiliki kapasitas kurang dari 20%
- Energy Storage memiliki kapasitas antara 21%-50%
- Energy Storage memiliki kapasitas lebih dari 50%

### 3.5 Diagram Alir



**Gambar 3. 5** Diagram alir penyelesaian tugas akhir

Pada tugas akhir ini permasalahan dalam manajemen energi listrik rumah tangga yang mempunyai *photovoltaic system* dengan *energy storages* diselesaikan dengan menggunakan *Mixed Integer Linear Programming*. Pada tugas akhir ini konsumen dapat mengamati dan mengontrol energi listrik dari sisi suplai dan beban menggunakan aplikasi web berbasis node.js. pertama pengguna harus log in di aplikasi web dengan *user* dan *password* yang telah dibuat. Setelah itu pengguna akan mendefinisikan profil *photovoltaic system* dengan *energy storage* dan profil beban.

Setiap awal hari sistem memeriksa kapasitas *energy storage* yang ada, kemudian sistem akan memperoleh informasi harga selama dua empat jam yang dikeluarkan PLN. Dari dua informasi kapasitas *energy storage* dan informasi harga selama dua empat jam tersebut sistem akan

melakukan perhitungan dengan *Mixed Integer Linear Programming* untuk mendapatkan biaya listrik paling murah, perhitungan dan pemeriksaan kapasitas baterai akan dilakuaka setiap hari dengan interval setial jam. Hasil tersebut akan sajikan sebagai rekomendasi pemilihan sumber energi listrik yang digunakan untuk pegguna.



## BAB 4

### SIMULASI DAN EKSPERIMEN

Pada bab ini akan dibahas hasil simulasi dari sistem HPMS yang telah didesain pada bab 3 yaitu menjadwalkan peralatan elektronik dan sumber energi listrik. Simulasi dibagi menjadi tiga kasus dengan tiga kondisi kapasitas energy storage. Simulasi tugas akhir ini menggunakan perangkat lunak Matlab. Sedangkan pada eksperimen digunakan prototipe rumah dengan bertegangan 220 Volt dengan *energy storage* dan dimonitoring dan dikontrol menggunakan aplikasi web.

#### 4.1 Data Plan

**Tabel 4. 1** Harga listrik dari *grid* dan *photovoltaic system (PV)*

| Jam | Grid = PV |      | Grid > PV |      | Grid < PV |      | Fluktuatif |      |
|-----|-----------|------|-----------|------|-----------|------|------------|------|
|     | Grid      | PV   | Grid      | PV   | Grid      | PV   | Grid       | PV   |
| 1   | 1451      | 1451 | 1814      | 1451 | 1088      | 1451 | 1517       | 1042 |
| 2   | 1458      | 1458 | 1823      | 1458 | 1094      | 1458 | 1484       | 1042 |
| 3   | 1452      | 1452 | 1815      | 1452 | 1089      | 1452 | 1475       | 1042 |
| 4   | 1451      | 1451 | 1814      | 1451 | 1089      | 1451 | 1467       | 1042 |
| 5   | 1456      | 1456 | 1820      | 1456 | 1092      | 1456 | 1536       | 1042 |
| 6   | 1471      | 1471 | 1838      | 1471 | 1103      | 1471 | 1547       | 1042 |
| 7   | 1601      | 1601 | 2002      | 1601 | 1201      | 1601 | 1503       | 1042 |
| 8   | 1614      | 1614 | 2018      | 1614 | 1211      | 1614 | 1629       | 1042 |
| 9   | 1664      | 1664 | 2080      | 1664 | 1248      | 1664 | 1732       | 1042 |
| 10  | 1649      | 1649 | 2061      | 1649 | 1237      | 1649 | 1764       | 1042 |
| 11  | 1595      | 1595 | 1993      | 1595 | 1196      | 1595 | 1794       | 1042 |
| 12  | 1568      | 1568 | 1959      | 1568 | 1176      | 1568 | 1702       | 1042 |
| 13  | 1521      | 1521 | 1902      | 1521 | 1141      | 1521 | 1738       | 1042 |
| 14  | 1476      | 1476 | 1845      | 1476 | 1107      | 1476 | 1782       | 1042 |
| 15  | 1455      | 1455 | 1819      | 1455 | 1091      | 1455 | 1768       | 1042 |
| 16  | 1544      | 1544 | 1930      | 1544 | 1158      | 1544 | 1753       | 1042 |
| 17  | 1605      | 1605 | 2007      | 1605 | 1204      | 1605 | 1767       | 1042 |
| 18  | 1865      | 1865 | 2331      | 1865 | 1399      | 1865 | 1919       | 1042 |
| 19  | 1770      | 1770 | 2212      | 1770 | 1327      | 1770 | 1906       | 1042 |
| 20  | 1720      | 1720 | 2149      | 1720 | 1290      | 1720 | 1808       | 1042 |
| 21  | 1649      | 1649 | 2061      | 1649 | 1237      | 1649 | 1739       | 1042 |
| 22  | 1662      | 1662 | 2078      | 1662 | 1247      | 1662 | 1629       | 1042 |
| 23  | 1575      | 1575 | 1968      | 1575 | 1181      | 1575 | 1579       | 1042 |
| 24  | 1615      | 1615 | 2019      | 1615 | 1212      | 1615 | 1456       | 1042 |

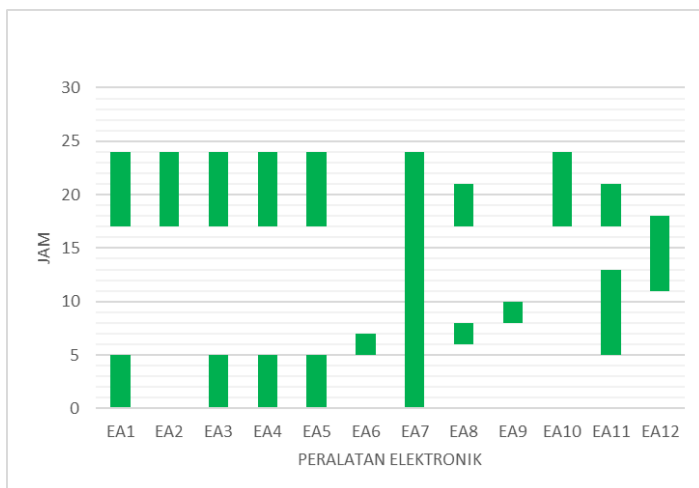
Pada tugas akhir ini disimulasikan empat skenario harga. Yaitu ketika harga listrik dari *grid* sama dengan *PV*, harga listrik *grid* lebih mahal, harga listrik *grid* lebih murah, dan ketika harga fluktuatif. Harga akan dikeluarkan berdasarkan interval jam, maka dalam satu hari akan ada 24 harga. Detail dari harga masing-masing skenario terdapat pada tabel 4.1

**Tabel 4.2 Data peralatan listrik konsumen**

| No    | Nama Beban               | P (Watt) | Jam/Hari | kWh    |
|-------|--------------------------|----------|----------|--------|
| 1     | Lampu Kamar 1 Lt 1 (EA1) | 14       | 12       | 0.168  |
| 2     | Lampu Kamar 2 Lt 1 (EA2) | 14       | 12       | 0.168  |
| 3     | Lampu Kamar 2 Lt 1 (EA3) | 14       | 12       | 0.168  |
| 4     | Lampu Kamar 1 Lt 2 (EA4) | 10       | 12       | 0.12   |
| 5     | Lampu Kamar 1 Lt 1 (EA5) | 20       | 12       | 0.24   |
| 6     | Pompa (EA6)              | 600      | 2        | 1.2    |
| 7     | Kulkas (EA7)             | 120      | 24       | 2.88   |
| 8     | TV (EA8)                 | 125      | 6        | 0.75   |
| 9     | Setrika (EA9)            | 300      | 2        | 0.6    |
| 10    | Kipas Angin 1 (EA10)     | 100      | 7        | 0.7    |
| 11    | Kipas Angin 2 (EA11)     | 100      | 12       | 1.2    |
| 12    | Komputer (EA12)          | 260      | 7        | 1.82   |
| Total |                          | 1677     | 120      | 10.014 |

Tabel 4.2 adalah data peralatan elektronik yang akan digunakan dalam simulasi. Pada tugas akhir ini diasumsikan sistem adalah konsumen rumah tangga dua lantai yang memiliki dua belas peralatan elektronik. Yaitu lima buah lampu, pompa, kulkas, TV, setrika, dua kipas angin, dan komputer. Pada Tabel 4.2 terdapat informasi nama peralatan, daya, rata-rata durasi waktu pemakaian harian, dan konsumsi daya rata-rata perjam.

Pada tugas akhir ini konsumen akan menjadwalkan peralatan elektronik sesuai dengan keinginan mereka. Dari hasil penjadwalan sistem akan menghitung biaya konsumsi energi listrik berdasarkan harga yang ada. Tabel 4.3 dan gambar 4.1 menginformasikan penjadwalan peralatan elektronik yang digunakan selama 24 jam.



**Gambar 4.1 Penjadwalan Peralatan**

Sumbu Y pada grafik gambar 4.3 adalah jam dalam interval per jam. Sedangkan sumbu X adalah jenis-jenis peralatan elektronik sesuai yang dideskripsikan pada tabel 4.2

**Tabel 4.3 Logic penjadwalan peralatan elektroik**

|      | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
|------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| EA1  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  |
| EA2  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  |
| EA3  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  |
| EA4  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  |
| EA5  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  |
| EA6  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| EA7  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  |
| EA8  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  |
| EA9  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| EA10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  |
| EA11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  |
| EA12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |

Tabel 4.3 adalah logic yang akan dikirim ke mikrokontroler. 1 berarti *on* sedangkan 0 berarti *off*.

## 4.2 Simulasi Home Power Management System

Pada simulasi ini terdapat tiga kondisi baterai. Jika pasitas baterai penuh diasumsikan baterai mampu mensuplai sistem selama 48 jam atau mempunyai *energy storage* denan *back up* dua hari. Tujuan dari simulasi ini adalah untuk mendapatkan **lower bond** dan **upper bond** untuk perhitungan matematis *Mixed Integer Linear Programming (MILP)*. Pada tugas akhir ini sistem akan melakukan perhitungan setiap jam dengan interval satu jam, sehingga aka dihasilkan 24 biaya optimum setiap jam. Kondisi tersebut sebagai berikut:

- Jika kapasitas baterai <20% atau low maka sistem otomatis menggunakan sumber energi listrik dari grid. Maka fungsi biayanya:

$$Ft_{low} = P_G(t)C_G(t) \quad (4.1)$$

- Jika kapasitas baterai antara 20%-50% maka sistem akan mencari biaya paling minimum dengan formula dan kombinasi sebagai berikut:

$$Ft(n)_{med} = Ai * P_G(t)C_G(t) + Bj * P_{PV}(t)C_{PV}(t) \quad (4.2)$$

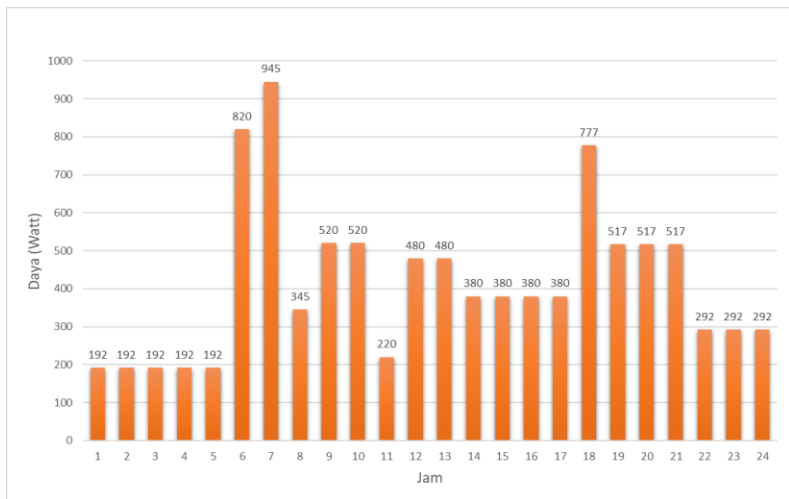
**Tabel 4.4 Kombinasi power resources (grid dan microgrid)**

| $Ft(n)_{med}$  | $Ai$ (%) | $Bj$ (%) |
|----------------|----------|----------|
| $Ft(1)_{med}$  | 0        | 100      |
| $Ft(2)_{med}$  | 10       | 90       |
| $Ft(3)_{med}$  | 20       | 80       |
| $Ft(4)_{med}$  | 30       | 70       |
| $Ft(5)_{med}$  | 40       | 60       |
| $Ft(6)_{med}$  | 50       | 50       |
| $Ft(7)_{med}$  | 60       | 40       |
| $Ft(8)_{med}$  | 70       | 30       |
| $Ft(9)_{med}$  | 80       | 20       |
| $Ft(10)_{med}$ | 90       | 10       |
| $Ft(11)_{med}$ | 100      | 0        |

- Jika kapasitas baterai >50% maka sistem otomatis menggunakan sumber energi listrik dari sumber energi surya

$$Ft_{up} = P_{PV}(t)C_{PV}(t) \quad (4.3)$$

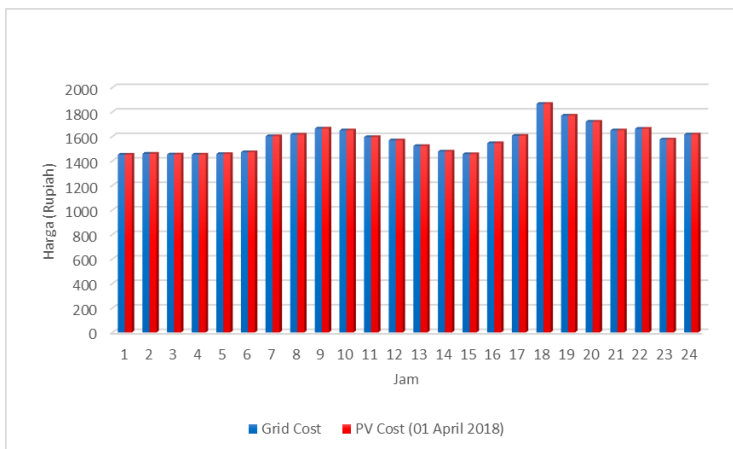
Pada simulasi tugas akhir ini diasumsika rumah memiliki dua belas peralatan elektronik yang telah dijadwal. Berdasarkan penjadwalan yang telah didefinsikan, makan pembeban setiap jam dapat dilihat pada gambar 4.2



**Gambar 4. 2 Pembeban sistem**

Sumbu y adalah konsumsi daya dalam watt, sedangkan sumbu x adalah jam dengan interval satu jam. Dari grafik pada gambar 4.2 dapat dilihat bahwa pembebanan paling kecil terjadi pada jam satu hingga 5 dengan pembebanan 192 watt. Sedangkan pembebanan paling besar terjadi pada jam tujuh dengan beban 952 watt. Disusu pada jam enam dengan beban 820 watt dan jam 18.00 dengan pembebanan 777 watt.

#### 4.2.1 Skenarion Pertama (*Grid Cost = PV Cost*)



**Gambar 4. 3** Grafik harga listrik *grid* dengan *PV* saat harga sama

Pada skenario pertama diasumsikan bahwa harga grid dan harga pv, dimana pada scenario ini harga grid paling rendah pada jam satu dan empat dengan harga Rp.1451 sedangkan harga tertinggi pada jam 18 seharga Rp.1865. diskenario ini dicoba apada tiga keadaan baterai yaitu ketika kapasitas baterai kurang dari 20%, diantara 20-50%, dan diatas 50%.

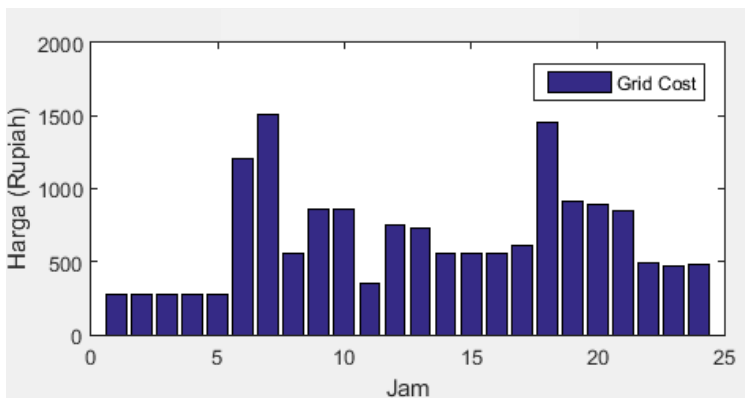
a. Kapasitas beterei kurang dari 20%

**Tabel 4.5** Hasil perhitungan biaya listrik skenario satu a

| Jam | Beban (kWh) | Harga Listrik (Rupiah) |           | Ftot (Rupiah) |
|-----|-------------|------------------------|-----------|---------------|
|     |             | <i>Grid</i>            | <i>PV</i> |               |
| 1   | 0.192       | 1451                   | 1451      | 278.59872     |
| 2   | 0.192       | 1458                   | 1458      | 279.97248     |
| 3   | 0.192       | 1452                   | 1452      | 278.85792     |
| 4   | 0.192       | 1451                   | 1451      | 278.67648     |
| 5   | 0.192       | 1456                   | 1456      | 279.55776     |
| 6   | 0.82        | 1471                   | 1471      | 1206.0109     |
| 7   | 0.945       | 1601                   | 1601      | 1513.346625   |
| 8   | 0.345       | 1614                   | 1614      | 556.962825    |
| 9   | 0.52        | 1664                   | 1664      | 865.1032      |
| 10  | 0.52        | 1649                   | 1649      | 857.4514      |

| Jam | Beban (kWh) | Harga Listrik (Rupiah) |      | Ftot (Rupiah) |
|-----|-------------|------------------------|------|---------------|
|     |             | Grid                   | PV   |               |
| 11  | 0.22        | 1595                   | 1595 | 350.7988      |
| 12  | 0.48        | 1568                   | 1568 | 752.4192      |
| 13  | 0.48        | 1521                   | 1521 | 730.2576      |
| 14  | 0.38        | 1476                   | 1476 | 560.8838      |
| 15  | 0.38        | 1455                   | 1455 | 552.8297      |
| 16  | 0.38        | 1544                   | 1544 | 586.853       |
| 17  | 0.38        | 1605                   | 1605 | 609.9779      |
| 18  | 0.777       | 1865                   | 1865 | 1449.16716    |
| 19  | 0.517       | 1770                   | 1770 | 914.8315      |
| 20  | 0.517       | 1720                   | 1720 | 889.00735     |
| 21  | 0.517       | 1649                   | 1649 | 852.57436     |
| 22  | 0.292       | 1662                   | 1662 | 485.3551      |
| 23  | 0.292       | 1575                   | 1575 | 459.77152     |
| 24  | 0.292       | 1615                   | 1615 | 471.71578     |

Hasil perhitungan matlab pada tabel 4.2 dapat disajikan dalam bentuk grafik pada gambar 4.4



**Gambar 4. 4 Total biaya terbangkit hasil perhitungan matlab skenario satu a**

Pada keadaan ini didapatkan bahwa biaya optimal adalah ketika seluruh beban disuplai oleh grid PLN, dari hasil simulasi didapat *lower bond* dan *upper bond* pada tabel 4.6

**Tabel 4.6 lower bond dan upper bond skenario satu a**

| Kapasitas baterai < 20% |      |    |
|-------------------------|------|----|
| Batas                   | Grid | PV |
| lb                      | 0    | 0  |
| ub                      | 1    | 0  |

b. Kapasitas baterai diantara 20% sampai 50%

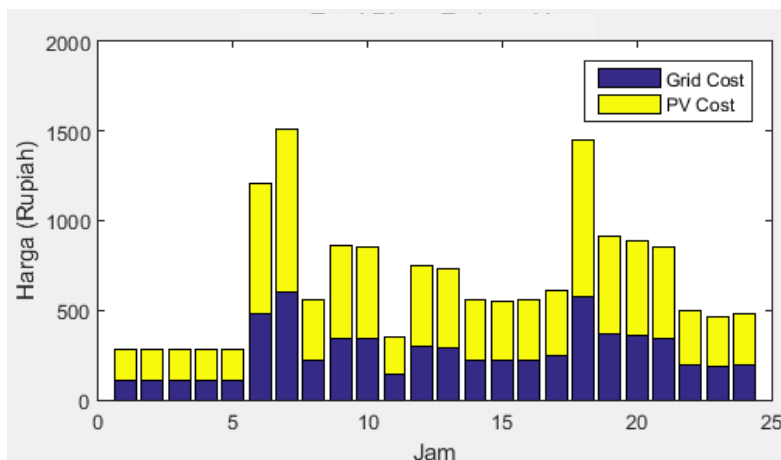
**Tabel 4.7 Hasil perhitungan biaya listrik skenario satu b**

| Jam | Beban | Harga Listrik |      | Ftot<br>(1) | Ftot<br>(2) | Ftot<br>(3) | Ftot<br>(4) | Ftot<br>(5)  |
|-----|-------|---------------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
|     |       | Grid          | PV   |             |             |             |             |              |
| 1   | 0.192 | 1451          | 1451 | 278.60      | 278.60      | 278.60      | 278.60      | 278.60       |
| 2   | 0.192 | 1458          | 1458 | 279.97      | 279.97      | 279.97      | 279.97      | 279.97       |
| 3   | 0.192 | 1452          | 1452 | 278.86      | 278.86      | 278.86      | 278.86      | 278.86       |
| 4   | 0.192 | 1451          | 1451 | 278.68      | 278.68      | 278.68      | 278.68      | 278.68       |
| 5   | 0.192 | 1456          | 1456 | 279.56      | 279.56      | 279.56      | 279.56      | 279.56       |
| 6   | 0.82  | 1471          | 1471 | 1206.0      | 1206.0      | 1206.0      | 1206.0      | 1206.0       |
| 7   | 0.945 | 1601          | 1601 | 1513.3      | 1513.3      | 1513.3      | 1513.3      | 1513.3       |
| 8   | 0.345 | 1614          | 1614 | 556.96      | 556.96      | 556.96      | 556.96      | 556.96       |
| 9   | 0.52  | 1664          | 1664 | 865.10      | 865.10      | 865.10      | 865.10      | 865.10       |
| 10  | 0.52  | 1649          | 1649 | 857.45      | 857.45      | 857.45      | 857.45      | 857.45       |
| 11  | 0.22  | 1595          | 1595 | 350.80      | 350.80      | 350.80      | 350.80      | 350.80       |
| 12  | 0.48  | 1568          | 1568 | 752.42      | 752.42      | 752.42      | 752.42      | 752.42       |
| 13  | 0.48  | 1521          | 1521 | 730.26      | 730.26      | 730.26      | 730.26      | 730.26       |
| 14  | 0.38  | 1476          | 1476 | 560.88      | 560.88      | 560.88      | 560.88      | 560.88       |
| 15  | 0.38  | 1455          | 1455 | 552.83      | 552.83      | 552.83      | 552.83      | 552.83       |
| 16  | 0.38  | 1544          | 1544 | 586.85      | 586.85      | 586.85      | 586.85      | 586.85       |
| 17  | 0.38  | 1605          | 1605 | 609.98      | 609.98      | 609.98      | 609.98      | 609.98       |
| 18  | 0.777 | 1865          | 1865 | 1449.1      | 1449.1      | 1449.1      | 1449.1      | 1449.1       |
| 19  | 0.517 | 1770          | 1770 | 914.83      | 914.83      | 914.83      | 914.83      | 914.83       |
| 20  | 0.517 | 1720          | 1720 | 889.01      | 889.01      | 889.01      | 889.01      | 889.01       |
| 21  | 0.517 | 1649          | 1649 | 852.57      | 852.57      | 852.57      | 852.57      | 852.57       |
| 22  | 0.292 | 1662          | 1662 | 485.36      | 485.36      | 485.36      | 485.36      | 485.36       |
| 23  | 0.292 | 1575          | 1575 | 459.77      | 459.77      | 459.77      | 459.77      | 459.77       |
| 24  | 0.292 | 1615          | 1615 | 471.72      | 471.72      | 471.72      | 471.72      | 471.72       |
| Jam | Beban | Harga Listrik |      | Ftot<br>(6) | Ftot<br>(7) | Ftot<br>(8) | Ftot<br>(9) | Ftot<br>(10) |
|     |       | Grid          | PV   |             |             |             |             |              |
| 1   | 0.192 | 1451          | 1451 | 278.60      | 278.60      | 278.60      | 278.60      | 278.60       |
| 2   | 0.192 | 1458          | 1458 | 279.97      | 279.97      | 279.97      | 279.97      | 279.97       |
| 3   | 0.192 | 1452          | 1452 | 278.86      | 278.86      | 278.86      | 278.86      | 278.86       |
| 4   | 0.192 | 1451          | 1451 | 278.68      | 278.68      | 278.68      | 278.68      | 278.68       |
| 5   | 0.192 | 1456          | 1456 | 279.56      | 279.56      | 279.56      | 279.56      | 279.56       |
| 6   | 0.82  | 1471          | 1471 | 1206.0      | 1206.0      | 1206.0      | 1206.0      | 1206.0       |
| 7   | 0.945 | 1601          | 1601 | 1513.3      | 1513.3      | 1513.3      | 1513.3      | 1513.3       |



| Jam | Beban | Harga Listrik |      | Ftot<br>(6) | Ftot<br>(7) | Ftot<br>(8) | Ftot<br>(9) | Ftot<br>(10) |
|-----|-------|---------------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
|     |       | Grid          | PV   |             |             |             |             |              |
| 8   | 0.345 | 1614          | 1614 | 556.96      | 556.96      | 556.96      | 556.96      | 556.96       |
| 9   | 0.52  | 1664          | 1664 | 865.10      | 865.10      | 865.10      | 865.10      | 865.10       |
| 10  | 0.52  | 1649          | 1649 | 857.45      | 857.45      | 857.45      | 857.45      | 857.45       |
| 11  | 0.22  | 1595          | 1595 | 350.80      | 350.80      | 350.80      | 350.80      | 350.80       |
| 12  | 0.48  | 1568          | 1568 | 752.42      | 752.42      | 752.42      | 752.42      | 752.42       |
| 13  | 0.48  | 1521          | 1521 | 730.26      | 730.26      | 730.26      | 730.26      | 730.26       |
| 14  | 0.38  | 1476          | 1476 | 560.88      | 560.88      | 560.88      | 560.88      | 560.88       |
| 15  | 0.38  | 1455          | 1455 | 552.83      | 552.83      | 552.83      | 552.83      | 552.83       |
| 16  | 0.38  | 1544          | 1544 | 586.85      | 586.85      | 586.85      | 586.85      | 586.85       |
| 17  | 0.38  | 1605          | 1605 | 609.98      | 609.98      | 609.98      | 609.98      | 609.98       |
| 18  | 0.777 | 1865          | 1865 | 1449.1      | 1449.1      | 1449.1      | 1449.1      | 1449.1       |
| 19  | 0.517 | 1770          | 1770 | 914.83      | 914.83      | 914.83      | 914.83      | 914.83       |
| 20  | 0.517 | 1720          | 1720 | 889.01      | 889.01      | 889.01      | 889.01      | 889.01       |
| 21  | 0.517 | 1649          | 1649 | 852.57      | 852.57      | 852.57      | 852.57      | 852.57       |
| 22  | 0.292 | 1662          | 1662 | 485.36      | 485.36      | 485.36      | 485.36      | 485.36       |
| 23  | 0.292 | 1575          | 1575 | 459.77      | 459.77      | 459.77      | 459.77      | 459.77       |
| 24  | 0.292 | 1615          | 1615 | 471.72      | 471.72      | 471.72      | 471.72      | 471.72       |

Hasil perhitungan matlab pada tabel 4.7 dapat disajikan dalam bentuk grafik pada gambar 4.5



**Gambar 4. 5 Total biaya terbangkit hasil perhitungan matlab skenario satu b**

Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada keadaan ini biaya optimal atau paling hemat terjadi ketika beban disuplai dengan dua sumber yaitu dari grid dan pv. Berdasarkan hasil simulasi kombinasi paling optimal adalah ketika grid mensuplai 40% dan pv 60%. Sehingga didapatkan *lower bond* dan *upper bond* pada tabel 4.8

**Tabel 4.8 *lower bond* dan *upper bond* skenario satu b**

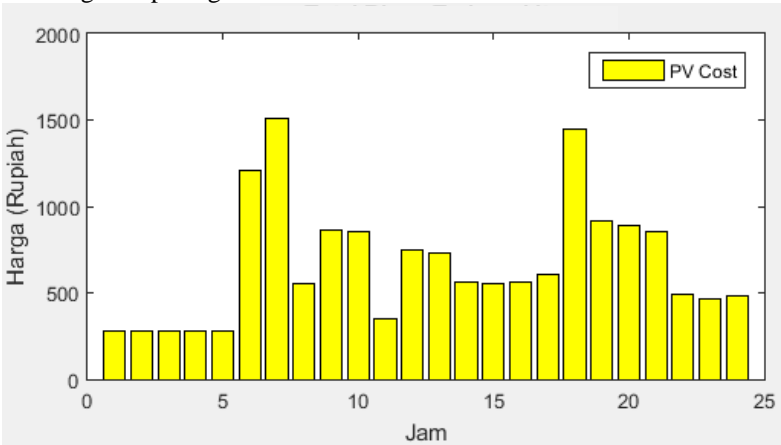
| 20% < kapasitas baterai < 50% |      |     |
|-------------------------------|------|-----|
| Batas                         | Grid | PV  |
| lb                            | 0    | 0   |
| ub                            | 0.4  | 0.6 |

c. Kapasitas baterai >50%

**Tabel 4.9 Hasil perhitungan biaya listrik skenario satu c**

| Jam | Beban (kWh) | Harga Listrik (Rupiah) |      | Ftot (Rupiah) |
|-----|-------------|------------------------|------|---------------|
|     |             | Grid                   | PV   |               |
| 1   | 0.192       | 1451                   | 1451 | 278.59872     |
| 2   | 0.192       | 1458                   | 1458 | 279.97248     |
| 3   | 0.192       | 1452                   | 1452 | 278.85792     |
| 4   | 0.192       | 1451                   | 1451 | 278.67648     |
| 5   | 0.192       | 1456                   | 1456 | 279.55776     |
| 6   | 0.82        | 1471                   | 1471 | 1206.0109     |
| 7   | 0.945       | 1601                   | 1601 | 1513.346625   |
| 8   | 0.345       | 1614                   | 1614 | 556.962825    |
| 9   | 0.52        | 1664                   | 1664 | 865.1032      |
| 10  | 0.52        | 1649                   | 1649 | 857.4514      |
| 11  | 0.22        | 1595                   | 1595 | 350.7988      |
| 12  | 0.48        | 1568                   | 1568 | 752.4192      |
| 13  | 0.48        | 1521                   | 1521 | 730.2576      |
| 14  | 0.38        | 1476                   | 1476 | 560.8838      |
| 15  | 0.38        | 1455                   | 1455 | 552.8297      |
| 16  | 0.38        | 1544                   | 1544 | 586.853       |
| 17  | 0.38        | 1605                   | 1605 | 609.9779      |
| 18  | 0.777       | 1865                   | 1865 | 1449.16716    |
| 19  | 0.517       | 1770                   | 1770 | 914.8315      |
| 20  | 0.517       | 1720                   | 1720 | 889.00735     |
| 21  | 0.517       | 1649                   | 1649 | 852.57436     |
| 22  | 0.292       | 1662                   | 1662 | 485.3551      |
| 23  | 0.292       | 1575                   | 1575 | 459.77152     |
| 24  | 0.292       | 1615                   | 1615 | 471.71578     |

Hasil perhitungan matlab pada tabel 4.9 dapat disajikan dalam bentuk grafik pada gambar 4.6



Gambar 4. 6 Total biaya terbangkit hasil perhitungan matlab skenario satu c

Pada skenario satu c hasil simulasi menunjukkan bahwa biaya paling optimal atau hemat adalah ketika beban sisuplai penuh oleh pv. Dari hasil simulasi maka dapat didapat *lower bond* dan *upper bond* seperti pada tabel 4.10

Tabel 4.10 *lower bond* dan *upper bond* skenario satu c

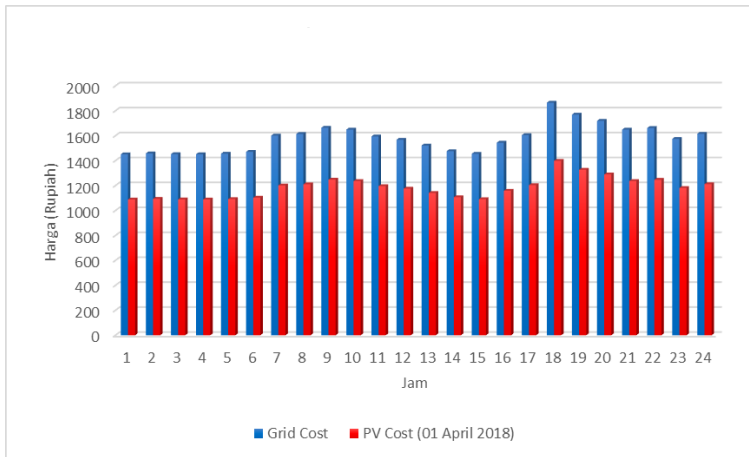
| Kapasitas baterai > 50% |      |    |
|-------------------------|------|----|
| Batas                   | Grid | PV |
| lb                      | 0    | 0  |
| ub                      | 0    | 1  |

Dari tiga simulasi keadaan baterai pada skenario satu satu (harga *grid* sama dengan harga *pv*) didapatkan *lower bond* dan *upper bond* yang dapat dirangkum pada tabel 4.12. *lower bond* dan *upper bond* yang didapat pada hasil simulasi ini akan digunakan sebagai *limit min* dan *limit max* yang dapat disupply oleh *power resources* (*grid* dan *microgrid*). dengan adanya *limit min* dan *max* yang makan pengguna akan mendapatkan biaya listrik paling murah berdarakan harga dan kondisi *energy storage* yang tersisa.

**Tabel 4.11 lower bond dan upper bond skenario satu**

| Batas | <20% |    | 20%-50% |     | >50% |    |
|-------|------|----|---------|-----|------|----|
|       | Grid | PV | Grid    | PV  | Grid | PV |
| lb    | 0    | 0  | 0       | 0   | 0    | 0  |
| up    | 1    | 0  | 0.4     | 0.6 | 0    | 1  |

#### 4.2.2 Skenario Kedua (*Grid Cost > PV Cost*)



**Gambar 4. 7 Grafik harga listrik *grid* dengan *PV* saat harga *grid* lebih mahal**

Pada skenario dua diasumsikan bahwa harga *grid* lebih mahal dari harga *PV*, dimana pada skenario ini harga *grid* dan *PV* paling rendah pada jam satu dan empat, sedangkan harga tertinggi pada jam 18 seharga. Sama seperti pada skenario satu akan dicoba tiga keadaan baterai yaitu ketika kapasitas baterai kurang dari 20%, diantara 20-50%, dan diatas 50%.

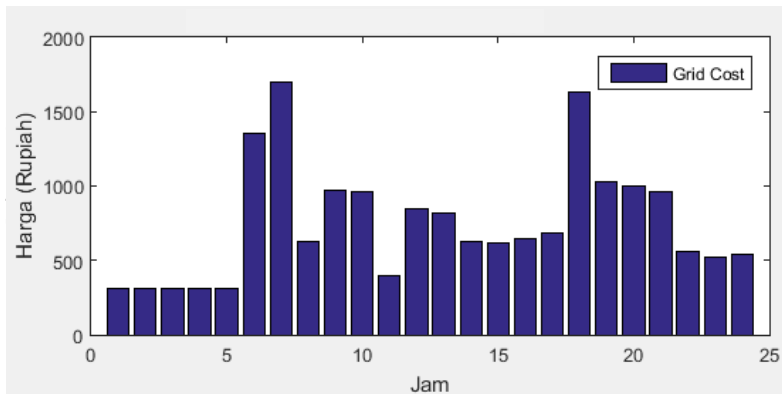
- a. Kapasitas baterai < 20%

**Tabel 4.12 Hasil perhitungan biaya listrik skenario dua a**

| Jam | Beban (kWh) | Harga Listrik (Rupiah) |      | Ftot (Rupiah) |
|-----|-------------|------------------------|------|---------------|
|     |             | Grid                   | PV   |               |
| 1   | 0.192       | 1814                   | 1451 | 348.2484      |
| 2   | 0.192       | 1823                   | 1458 | 349.9656      |
| 3   | 0.192       | 1815                   | 1452 | 348.5724      |

| Jam | Beban (kWh) | Harga Listrik (Rupiah) |      | Ftot (Rupiah) |
|-----|-------------|------------------------|------|---------------|
|     |             | Grid                   | PV   |               |
| 4   | 0.192       | 1814                   | 1451 | 348.3456      |
| 5   | 0.192       | 1820                   | 1456 | 349.4472      |
| 6   | 0.82        | 1838                   | 1471 | 1507.513625   |
| 7   | 0.945       | 2002                   | 1601 | 1891.683281   |
| 8   | 0.345       | 2018                   | 1614 | 696.2035313   |
| 9   | 0.52        | 2080                   | 1664 | 1081.379      |
| 10  | 0.52        | 2061                   | 1649 | 1071.81425    |
| 11  | 0.22        | 1993                   | 1595 | 438.4985      |
| 12  | 0.48        | 1959                   | 1568 | 940.524       |
| 13  | 0.48        | 1902                   | 1521 | 912.822       |
| 14  | 0.38        | 1845                   | 1476 | 701.10475     |
| 15  | 0.38        | 1819                   | 1455 | 691.037125    |
| 16  | 0.38        | 1930                   | 1544 | 733.56625     |
| 17  | 0.38        | 2007                   | 1605 | 762.472375    |
| 18  | 0.777       | 2331                   | 1865 | 1811.45895    |
| 19  | 0.517       | 2212                   | 1770 | 1143.539375   |
| 20  | 0.517       | 2149                   | 1720 | 1111.259188   |
| 21  | 0.517       | 2061                   | 1649 | 1065.71795    |
| 22  | 0.292       | 2078                   | 1662 | 606.693875    |
| 23  | 0.292       | 1968                   | 1575 | 574.7144      |
| 24  | 0.292       | 2019                   | 1615 | 589.644725    |

Hasil perhitungan matlab pada tabel 4.12 dapat disajikan dalam bentuk grafik pada gambar 4.8



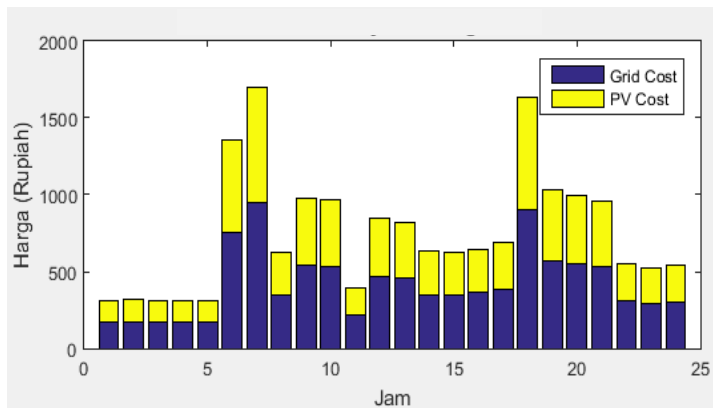
Gambar 4. 8 Total biaya terbangkit hasil perhitungan matlab skenario dua a

b. Kapasitas baterai diantara 20% sampai 50%

**Tabel 4.14 Hasil perhitungan biaya listrik skenario dua b**

| Jam | Beban | Harga Listrik |      | Ftot<br>(1) | Ftot<br>(2) | Ftot<br>(3) | Ftot<br>(4) | Ftot<br>(5)  |
|-----|-------|---------------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
|     |       | Grid          | PV   |             |             |             |             |              |
| 1   | 0.192 | 1814          | 1451 | 278.60      | 285.56      | 292.53      | 299.49      | 306.46       |
| 2   | 0.192 | 1823          | 1458 | 279.97      | 286.97      | 293.97      | 300.97      | 307.97       |
| 3   | 0.192 | 1815          | 1452 | 278.86      | 285.83      | 292.80      | 299.77      | 306.74       |
| 4   | 0.192 | 1814          | 1451 | 278.68      | 285.64      | 292.61      | 299.58      | 306.54       |
| 5   | 0.192 | 1820          | 1456 | 279.56      | 286.55      | 293.54      | 300.52      | 307.51       |
| 6   | 0.82  | 1838          | 1471 | 1206.0      | 1236.1      | 1266.3      | 1296.4      | 1326.6       |
| 7   | 0.945 | 2002          | 1601 | 1513.3      | 1551.1      | 1589.0      | 1626.8      | 1664.6       |
| 8   | 0.345 | 2018          | 1614 | 556.96      | 570.89      | 584.81      | 598.74      | 612.66       |
| 9   | 0.52  | 2080          | 1664 | 865.10      | 886.73      | 908.36      | 929.99      | 951.61       |
| 10  | 0.52  | 2061          | 1649 | 857.45      | 878.89      | 900.32      | 921.76      | 943.20       |
| 11  | 0.22  | 1993          | 1595 | 350.80      | 359.57      | 368.34      | 377.11      | 385.88       |
| 12  | 0.48  | 1959          | 1568 | 752.42      | 771.23      | 790.04      | 808.85      | 827.66       |
| 13  | 0.48  | 1902          | 1521 | 730.26      | 748.51      | 766.77      | 785.03      | 803.28       |
| 14  | 0.38  | 1845          | 1476 | 560.88      | 574.91      | 588.93      | 602.95      | 616.97       |
| 15  | 0.38  | 1819          | 1455 | 552.83      | 566.65      | 580.47      | 594.29      | 608.11       |
| 16  | 0.38  | 1930          | 1544 | 586.85      | 601.52      | 616.20      | 630.87      | 645.54       |
| 17  | 0.38  | 2007          | 1605 | 609.98      | 625.23      | 640.48      | 655.73      | 670.98       |
| 18  | 0.777 | 2331          | 1865 | 1449.1      | 1485.4      | 1521.6      | 1557.8      | 1594.0       |
| 19  | 0.517 | 2212          | 1770 | 914.83      | 937.70      | 960.57      | 983.44      | 1006.3       |
| 20  | 0.517 | 2149          | 1720 | 889.01      | 911.23      | 933.46      | 955.68      | 977.91       |
| 21  | 0.517 | 2061          | 1649 | 852.57      | 852.57      | 852.57      | 852.57      | 852.57       |
| 22  | 0.292 | 2078          | 1662 | 485.36      | 485.36      | 485.36      | 485.36      | 485.36       |
| 23  | 0.292 | 1968          | 1575 | 459.77      | 459.77      | 459.77      | 459.77      | 459.77       |
| 24  | 0.292 | 2019          | 1615 | 471.72      | 471.72      | 471.72      | 471.72      | 471.72       |
| Jam | Beban | Harga Listrik |      | Ftot<br>(6) | Ftot<br>(7) | Ftot<br>(8) | Ftot<br>(9) | Ftot<br>(10) |
|     |       | Grid          | PV   |             |             |             |             |              |
| 1   | 0.192 | 1814          | 1451 | 313.42      | 320.39      | 334.32      | 341.28      | 341.28       |
| 2   | 0.192 | 1823          | 1458 | 314.97      | 321.97      | 335.97      | 342.97      | 342.97       |
| 3   | 0.192 | 1815          | 1452 | 313.72      | 320.69      | 334.63      | 341.60      | 341.60       |
| 4   | 0.192 | 1814          | 1451 | 313.51      | 320.48      | 334.41      | 341.38      | 341.38       |
| 5   | 0.192 | 1820          | 1456 | 314.50      | 321.49      | 335.47      | 342.46      | 342.46       |
| 6   | 0.82  | 1838          | 1471 | 1356.7      | 1386.9      | 1447.2      | 1477.3      | 1477.3       |
| 7   | 0.945 | 2002          | 1601 | 1702.5      | 1740.3      | 1816.0      | 1853.8      | 1853.8       |
| 8   | 0.345 | 2018          | 1614 | 626.58      | 640.51      | 668.36      | 682.28      | 682.28       |
| 9   | 0.52  | 2080          | 1664 | 973.24      | 994.87      | 1038.1      | 1059.7      | 1059.7       |
| 10  | 0.52  | 2061          | 1649 | 964.63      | 986.07      | 1028.9      | 1050.4      | 1050.4       |
| 11  | 0.22  | 1993          | 1595 | 394.65      | 403.42      | 420.96      | 429.73      | 429.73       |
| 12  | 0.48  | 1959          | 1568 | 846.47      | 865.28      | 902.90      | 921.71      | 921.71       |
| 13  | 0.48  | 1902          | 1521 | 821.54      | 839.80      | 876.31      | 894.57      | 894.57       |

| Jam | Beban | Harga Listrik |      | Ftot<br>(6) | Ftot<br>(7) | Ftot<br>(8) | Ftot<br>(9) | Ftot<br>(10) |
|-----|-------|---------------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
|     |       | Grid          | PV   |             |             |             |             |              |
| 14  | 0.38  | 1845          | 1476 | 630.99      | 645.02      | 673.06      | 687.08      | 687.08       |
| 15  | 0.38  | 1819          | 1455 | 621.93      | 635.75      | 663.40      | 677.22      | 677.22       |
| 16  | 0.38  | 1930          | 1544 | 660.21      | 674.88      | 704.22      | 718.89      | 718.89       |
| 17  | 0.38  | 2007          | 1605 | 686.23      | 701.47      | 731.97      | 747.22      | 747.22       |
| 18  | 0.777 | 2331          | 1865 | 1630.3      | 1666.5      | 1739.0      | 1775.2      | 1775.2       |
| 19  | 0.517 | 2212          | 1770 | 1029.2      | 1052.0      | 1097.8      | 1120.7      | 1120.7       |
| 20  | 0.517 | 2149          | 1720 | 1000.1      | 1022.4      | 1066.8      | 1089.0      | 1089.0       |
| 21  | 0.517 | 2061          | 1649 | 959.15      | 980.46      | 1023.1      | 1044.4      | 1044.4       |
| 22  | 0.292 | 2078          | 1662 | 546.02      | 558.16      | 582.43      | 594.56      | 594.56       |
| 23  | 0.292 | 1968          | 1575 | 517.24      | 528.74      | 551.73      | 563.22      | 563.22       |
| 24  | 0.292 | 2019          | 1615 | 530.68      | 542.47      | 566.06      | 577.85      | 577.85       |



**Gambar 4. 9 Total biaya terbangkit hasil perhitungan matlab skenario dua b**

Hasil perhitungan matlab pada tabel 4.14 dapat disajikan dalam bentuk grafik pada gambar 4.9 Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada keadaan ini biaya optimal adalah ketika grid mensupli 50% dan pv 50%.

**Tabel 4.15 lower bond dan upper bond skenario dua b**

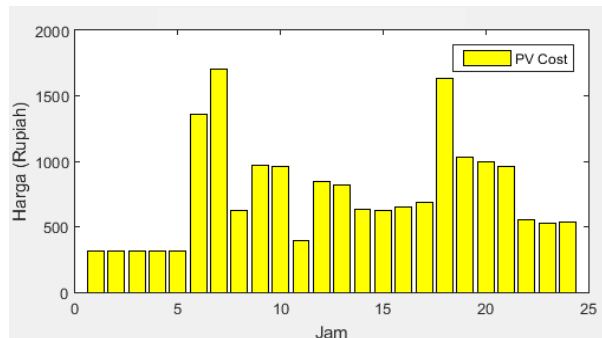
Sehingga didapatkan *lower bond* dan *upper bond* seperti pada tabel 4.15.

| 20% < kapasitas baterai < 50% |      |     |
|-------------------------------|------|-----|
| Batas                         | Grid | PV  |
| lb                            | 0    | 0   |
| ub                            | 0.5  | 0.5 |

c. Kapasitas baterai lebih besar dari 50%

**Tabel 4.16** hasil perhitungan biaya listrik skenario dua c

| Jam | Beban (kWh) | Harga Listrik (Rupiah) |      | Ftot (Rupiah) |
|-----|-------------|------------------------|------|---------------|
|     |             | Grid                   | PV   |               |
| 1   | 0.192       | 1814                   | 1451 | 278.59872     |
| 2   | 0.192       | 1823                   | 1458 | 279.97248     |
| 3   | 0.192       | 1815                   | 1452 | 278.85792     |
| 4   | 0.192       | 1814                   | 1451 | 278.67648     |
| 5   | 0.192       | 1820                   | 1456 | 279.55776     |
| 6   | 0.82        | 1838                   | 1471 | 1206.0109     |
| 7   | 0.945       | 2002                   | 1601 | 1513.346625   |
| 8   | 0.345       | 2018                   | 1614 | 556.962825    |
| 9   | 0.52        | 2080                   | 1664 | 865.1032      |
| 10  | 0.52        | 2061                   | 1649 | 857.4514      |
| 11  | 0.22        | 1993                   | 1595 | 350.7988      |
| 12  | 0.48        | 1959                   | 1568 | 752.4192      |
| 13  | 0.48        | 1902                   | 1521 | 730.2576      |
| 14  | 0.38        | 1845                   | 1476 | 560.8838      |
| 15  | 0.38        | 1819                   | 1455 | 552.8297      |
| 16  | 0.38        | 1930                   | 1544 | 586.853       |
| 17  | 0.38        | 2007                   | 1605 | 609.9779      |
| 18  | 0.777       | 2331                   | 1865 | 1449.16716    |
| 19  | 0.517       | 2212                   | 1770 | 914.8315      |
| 20  | 0.517       | 2149                   | 1720 | 889.00735     |
| 21  | 0.517       | 2061                   | 1649 | 852.57436     |
| 22  | 0.292       | 2078                   | 1662 | 485.3551      |
| 23  | 0.292       | 1968                   | 1575 | 459.77152     |
| 24  | 0.292       | 2019                   | 1615 | 471.71578     |



**Gambar 4. 10** Total biaya terbangkit hasil perhitungan matlab skenario dua c



Hasil perhitungan matlab pada tabel 4.16 dapat disajikan dalam bentuk grafik pada gambar 4.10. Pada skenario dua c hasil simulasi menunjukkan bahwa biaya paling optimal atau hemat adalah ketika beban disuplai penuh oleh *PV*. Dari hasil simulasi maka dapat didapat *lower bond* dan *upper bond* seperti pada tabel 4.17

**Tabel 4.17 *lower bond* dan *upper bond* skenario dua c**

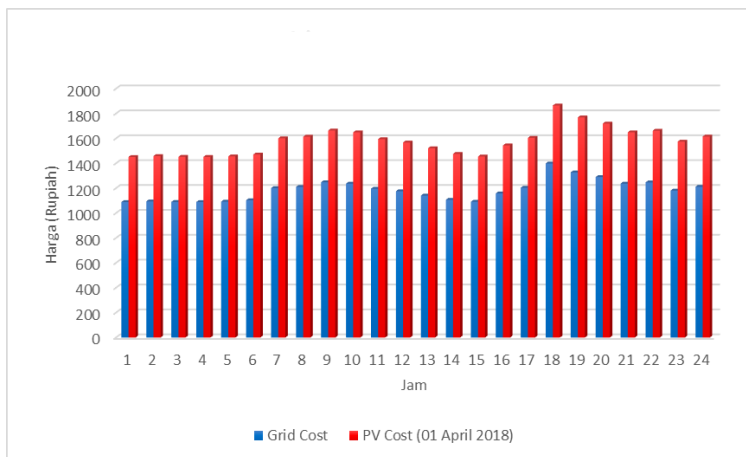
| Kapasitas baterai > 50% |      |    |
|-------------------------|------|----|
| Batas                   | Grid | PV |
| lb                      | 0    | 0  |
| ub                      | 0    | 1  |

Maka dari skenario dua ketika harga *grid* lebih mahal dari *PV* didapatkan *lower bond* dan *upper bond* seperti pada tabel 4.18

**Tabel 4.18 *lower bond* dan *upper bond* skenario dua**

| Batas | <20% |    | 20%-50% |     | >50% |    |
|-------|------|----|---------|-----|------|----|
|       | Grid | PV | Grid    | PV  | Grid | PV |
| lb    | 0    | 0  | 0       | 0   | 0    | 0  |
| up    | 1    | 0  | 0.5     | 0.5 | 0    | 1  |

### 4.2.3 Skenario Ketiga (*Grid Cost < PV Cost*)



**Gambar 4. 11 Grafik harga listrik *grid* dengan *PV* saat harga *grid* lebih murah**

Pada skenario ketiga diasumsikan bahwa harga *grid* lebih murah dari harga *PV*, dimana pada skenario ini harga *grid* dan *PV* paling rendah pada jam satu dan empat, sedangkan harga tertinggi pada jam 18 seharga. Sama seperti pada skenario sebelumnya akan dicoba tiga keadaan baterai yaitu ketika kapasitas baterai kurang dari 20%, diantara 20-50%, dan diatas 50%.

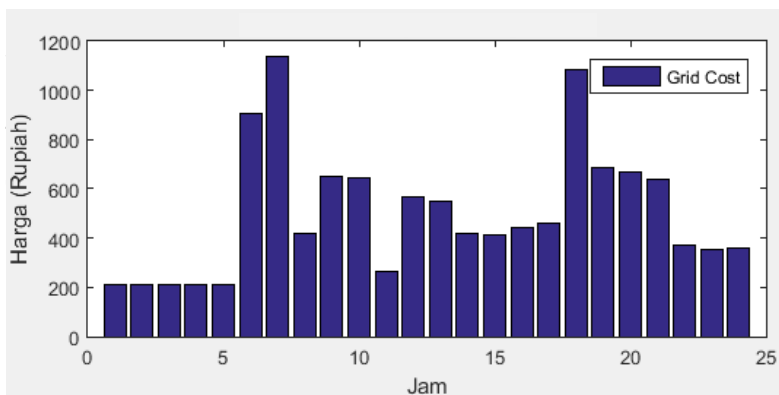
a. Kapasitas baterai < 20%

**Tabel 4.19 Hasil perhitungan biaya listrik skenario tiga a**

| Jam | Beban (kWh) | Harga Listrik (Rupiah) |      | Ftot (Rupiah) |
|-----|-------------|------------------------|------|---------------|
|     |             | Grid                   | PV   |               |
| 1   | 0.192       | 1088                   | 1451 | 208.94904     |
| 2   | 0.192       | 1094                   | 1458 | 209.97936     |
| 3   | 0.192       | 1089                   | 1452 | 209.14344     |
| 4   | 0.192       | 1089                   | 1451 | 209.00736     |
| 5   | 0.192       | 1092                   | 1456 | 209.66832     |
| 6   | 0.82        | 1103                   | 1471 | 904.508175    |
| 7   | 0.945       | 1201                   | 1601 | 1135.009969   |
| 8   | 0.345       | 1211                   | 1614 | 417.7221188   |
| 9   | 0.52        | 1248                   | 1664 | 648.8274      |
| 10  | 0.52        | 1237                   | 1649 | 643.08855     |
| 11  | 0.22        | 1196                   | 1595 | 263.0991      |

| Jam | Beban (kWh) | Harga Listrik (Rupiah) |      | Ftot (Rupiah) |
|-----|-------------|------------------------|------|---------------|
|     |             | Grid                   | PV   |               |
| 12  | 0.48        | 1176                   | 1568 | 564.3144      |
| 13  | 0.48        | 1141                   | 1521 | 547.6932      |
| 14  | 0.38        | 1107                   | 1476 | 420.66285     |
| 15  | 0.38        | 1091                   | 1455 | 414.622275    |
| 16  | 0.38        | 1158                   | 1544 | 440.13975     |
| 17  | 0.38        | 1204                   | 1605 | 457.483425    |
| 18  | 0.777       | 1399                   | 1865 | 1086.87537    |
| 19  | 0.517       | 1327                   | 1770 | 686.123625    |
| 20  | 0.517       | 1290                   | 1720 | 666.7555125   |
| 21  | 0.517       | 1237                   | 1649 | 639.43077     |
| 22  | 0.292       | 1247                   | 1662 | 364.016325    |
| 23  | 0.292       | 1181                   | 1575 | 344.82864     |
| 24  | 0.292       | 1212                   | 1615 | 353.786835    |

Hasil perhitungan matlab pada tabel 4.19 dapat disajikan dalam bentuk grafik pada gambar 4.12



Gambar 4. 12 Total biaya terbangkit hasil perhitungan matlab skenario tiga a

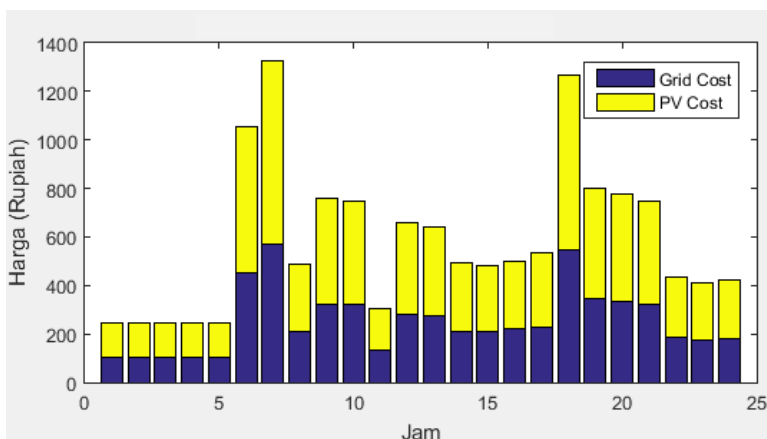
b. Kapasitas baterai diantara 20% sampai 50%

**Tabel 4.21 Hasil perhitungan biaya listrik skenario tiga b**

| Jam | Beban | Harga Listrik |      | Ftot<br>(1) | Ftot<br>(2) | Ftot<br>(3) | Ftot<br>(4) | Ftot<br>(5)  |
|-----|-------|---------------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
|     |       | Grid          | PV   |             |             |             |             |              |
| 1   | 0.192 | 1088          | 1451 | 278.60      | 271.63      | 264.67      | 257.70      | 250.74       |
| 2   | 0.192 | 1094          | 1458 | 279.97      | 272.97      | 265.97      | 258.97      | 251.98       |
| 3   | 0.192 | 1089          | 1452 | 278.86      | 271.89      | 264.92      | 257.94      | 250.97       |
| 4   | 0.192 | 1089          | 1451 | 278.68      | 271.71      | 264.74      | 257.78      | 250.81       |
| 5   | 0.192 | 1092          | 1456 | 279.56      | 272.57      | 265.58      | 258.59      | 251.60       |
| 6   | 0.82  | 1103          | 1471 | 1206.0      | 1175.9      | 1145.7      | 1115.6      | 1085.4       |
| 7   | 0.945 | 1201          | 1601 | 1513.3      | 1475.5      | 1437.7      | 1399.8      | 1362.0       |
| 8   | 0.345 | 1211          | 1614 | 556.96      | 543.04      | 529.11      | 515.19      | 501.27       |
| 9   | 0.52  | 1248          | 1664 | 865.10      | 843.48      | 821.85      | 800.22      | 778.59       |
| 10  | 0.52  | 1237          | 1649 | 857.45      | 836.02      | 814.58      | 793.14      | 771.71       |
| 11  | 0.22  | 1196          | 1595 | 350.80      | 342.03      | 333.26      | 324.49      | 315.72       |
| 12  | 0.48  | 1176          | 1568 | 752.42      | 733.61      | 714.80      | 695.99      | 677.18       |
| 13  | 0.48  | 1141          | 1521 | 730.26      | 712.00      | 693.74      | 675.49      | 657.23       |
| 14  | 0.38  | 1107          | 1476 | 560.88      | 546.86      | 532.84      | 518.82      | 504.80       |
| 15  | 0.38  | 1091          | 1455 | 552.83      | 539.01      | 525.19      | 511.37      | 497.55       |
| 16  | 0.38  | 1158          | 1544 | 586.85      | 572.18      | 557.51      | 542.84      | 528.17       |
| 17  | 0.38  | 1204          | 1605 | 609.98      | 594.73      | 579.48      | 564.23      | 548.98       |
| 18  | 0.777 | 1399          | 1865 | 1449.2      | 1412.9      | 1376.7      | 1340.5      | 1304.3       |
| 19  | 0.517 | 1327          | 1770 | 914.83      | 891.96      | 869.09      | 846.22      | 823.35       |
| 20  | 0.517 | 1290          | 1720 | 889.01      | 866.78      | 844.56      | 822.33      | 800.11       |
| 21  | 0.517 | 1237          | 1649 | 852.57      | 831.26      | 809.95      | 788.63      | 767.32       |
| 22  | 0.292 | 1247          | 1662 | 485.36      | 473.22      | 461.09      | 448.95      | 436.82       |
| 23  | 0.292 | 1181          | 1575 | 459.77      | 448.28      | 436.78      | 425.29      | 413.79       |
| 24  | 0.292 | 1212          | 1615 | 471.72      | 459.92      | 448.13      | 436.34      | 424.54       |
| Jam | Beban | Harga Listrik |      | Ftot<br>(6) | Ftot<br>(7) | Ftot<br>(8) | Ftot<br>(9) | Ftot<br>(10) |
|     |       | Grid          | PV   |             |             |             |             |              |
| 1   | 0.192 | 1088          | 1451 | 243.77      | 236.81      | 222.88      | 215.91      | 215.91       |
| 2   | 0.192 | 1094          | 1458 | 244.98      | 237.98      | 223.98      | 216.98      | 216.98       |
| 3   | 0.192 | 1089          | 1452 | 244.00      | 237.03      | 223.09      | 216.11      | 216.11       |
| 4   | 0.192 | 1089          | 1451 | 243.84      | 236.88      | 222.94      | 215.97      | 215.97       |
| 5   | 0.192 | 1092          | 1456 | 244.61      | 237.62      | 223.65      | 216.66      | 216.66       |
| 6   | 0.82  | 1103          | 1471 | 1055.3      | 1025.1      | 964.8       | 934.7       | 934.7        |
| 7   | 0.945 | 1201          | 1601 | 1324.2      | 1286.3      | 1210.7      | 1172.8      | 1172.8       |
| 8   | 0.345 | 1211          | 1614 | 487.34      | 473.42      | 445.57      | 431.65      | 431.65       |
| 9   | 0.52  | 1248          | 1664 | 756.97      | 735.34      | 692.08      | 670.45      | 670.45       |
| 10  | 0.52  | 1237          | 1649 | 750.27      | 728.83      | 685.96      | 664.52      | 664.52       |
| 11  | 0.22  | 1196          | 1595 | 306.95      | 298.18      | 280.64      | 271.87      | 271.87       |
| 12  | 0.48  | 1176          | 1568 | 658.37      | 639.56      | 601.94      | 583.12      | 583.12       |
| 13  | 0.48  | 1141          | 1521 | 638.98      | 620.72      | 584.21      | 565.95      | 565.95       |
| 14  | 0.38  | 1107          | 1476 | 490.77      | 476.75      | 448.71      | 434.68      | 434.68       |
| 15  | 0.38  | 1091          | 1455 | 483.73      | 469.91      | 442.26      | 428.44      | 428.44       |

| Jam | Beban | Harga Listrik |      | Ftot<br>(6) | Ftot<br>(7) | Ftot<br>(8) | Ftot<br>(9) | Ftot<br>(10) |
|-----|-------|---------------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
|     |       | Grid          | PV   |             |             |             |             |              |
| 16  | 0.38  | 1158          | 1544 | 513.50      | 498.83      | 469.48      | 454.81      | 454.81       |
| 17  | 0.38  | 1204          | 1605 | 533.73      | 518.48      | 487.98      | 472.73      | 472.73       |
| 18  | 0.777 | 1399          | 1865 | 1268.0      | 1231.8      | 1159.3      | 1123.1      | 1123.1       |
| 19  | 0.517 | 1327          | 1770 | 800.48      | 777.61      | 731.87      | 708.99      | 708.99       |
| 20  | 0.517 | 1290          | 1720 | 777.88      | 755.66      | 711.21      | 688.98      | 688.98       |
| 21  | 0.517 | 1237          | 1649 | 746.00      | 724.69      | 682.06      | 660.75      | 660.75       |
| 22  | 0.292 | 1247          | 1662 | 424.69      | 412.55      | 388.28      | 376.15      | 376.15       |
| 23  | 0.292 | 1181          | 1575 | 402.30      | 390.81      | 367.82      | 356.32      | 356.32       |
| 24  | 0.292 | 1212          | 1615 | 412.75      | 400.96      | 377.37      | 365.58      | 365.58       |

Hasil perhitungan matlab pada tabel 4.21 dapat disajikan dalam bentuk grafik pada gambar 4.13



**Gambar 4. 13 Total biaya terbangkit hasil perhitungan matlab skenario tiga b**

Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada keadaan ini biaya optimal atau paling hemat terjadi ketika beban disuplai dengan dua sumber yaitu dari *grid* dan *PV*. Berdasarkan hasil simulasi kombinasi paling optimal adalah ketika grid mensupli 50% dan pv 50%. Sehingga didapatkan lower bond dan upper bond seperti pada tabel 4.22

**Tabel 4.22 lower bond dan upper bond skenario tiga b**

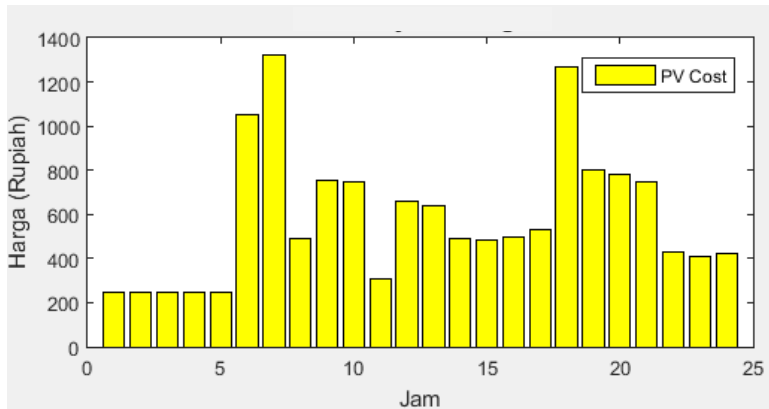
| 20% < kapasitas baterai < 50% |      |     |
|-------------------------------|------|-----|
| Batas                         | Grid | PV  |
| lb                            | 0    | 0   |
| ub                            | 0.5  | 0.5 |

c. Kapasitas baterai lebih besar dari 50%

**Tabel 4.23 hasil perhitungan biaya listrik skenario tiga c**

| Jam | Beban (kWh) | Harga Listrik (Rupiah) |      | Ftot (Rupiah) |
|-----|-------------|------------------------|------|---------------|
|     |             | Grid                   | PV   |               |
| 1   | 0.192       | 1088                   | 1451 | 278.59872     |
| 2   | 0.192       | 1094                   | 1458 | 279.97248     |
| 3   | 0.192       | 1089                   | 1452 | 278.85792     |
| 4   | 0.192       | 1089                   | 1451 | 278.67648     |
| 5   | 0.192       | 1092                   | 1456 | 279.55776     |
| 6   | 0.82        | 1103                   | 1471 | 1206.0109     |
| 7   | 0.945       | 1201                   | 1601 | 1513.346625   |
| 8   | 0.345       | 1211                   | 1614 | 556.962825    |
| 9   | 0.52        | 1248                   | 1664 | 865.1032      |
| 10  | 0.52        | 1237                   | 1649 | 857.4514      |
| 11  | 0.22        | 1196                   | 1595 | 350.7988      |
| 12  | 0.48        | 1176                   | 1568 | 752.4192      |
| 13  | 0.48        | 1141                   | 1521 | 730.2576      |
| 14  | 0.38        | 1107                   | 1476 | 560.8838      |
| 15  | 0.38        | 1091                   | 1455 | 552.8297      |
| 16  | 0.38        | 1158                   | 1544 | 586.853       |
| 17  | 0.38        | 1204                   | 1605 | 609.9779      |
| 18  | 0.777       | 1399                   | 1865 | 1449.16716    |
| 19  | 0.517       | 1327                   | 1770 | 914.8315      |
| 20  | 0.517       | 1290                   | 1720 | 889.00735     |
| 21  | 0.517       | 1237                   | 1649 | 852.57436     |
| 22  | 0.292       | 1247                   | 1662 | 485.3551      |
| 23  | 0.292       | 1181                   | 1575 | 459.77152     |
| 24  | 0.292       | 1212                   | 1615 | 471.71578     |

Hasil perhitungan matlab pada tabel 4.22 dapat disajikan dalam bentuk grafik pada gambar 4.14



**Gambar 4.14** Total biaya terbangkit hasil perhitungan matlab skenario tiga c

Pada skenario tiga hasil simulasi menunjukkan bahwa biaya paling optimal atau hemat adalah ketika beban disuplai penuh oleh *PV*. Dari hasil simulasi maka dapat didapat lower bond dan upper bond seperti pada tabel 4.24

**Tabel 4.24** *lower bond* dan *upper bond* skenario tiga c

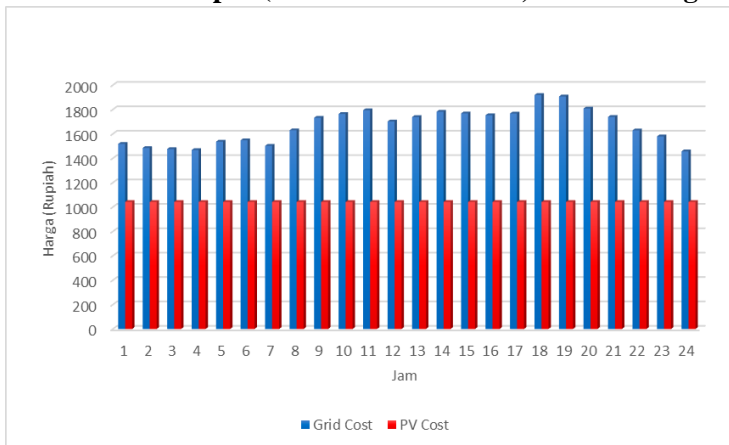
| Kapasitas baterai > 50% |      |    |
|-------------------------|------|----|
| Batas                   | Grid | PV |
| lb                      | 0    | 0  |
| ub                      | 0    | 1  |

Maka dari seluruh simulasi pada skenario tiga yaitu saat harga *grid* lebih murah dibanding harga *PV* didapatkan *lower bond* dan *upper bond* pada tabel 4.25. berdasarkan hasil simulasi maka saat kapasitas *energy storage* kurang dari 20% paling optimal disuplai oleh *grid*, sedangkan ketika diantara 20-50% kombinasi 50% *grid* : 50% *PV*, dan ketika lebih dari 50% disuplai oleh *PV*.

**Tabel 4.25** *lower bond* dan *upper bond* skenario tiga

| Batas | <20% |    | 20%-50% |     | >50% |    |
|-------|------|----|---------|-----|------|----|
|       | Grid | PV | Grid    | PV  | Grid | PV |
| lb    | 0    | 0  | 0       | 0   | 0    | 0  |
| up    | 1    | 0  | 0.5     | 0.5 | 0    | 1  |

#### 4.2.4 Skenario Empat (*Grid Cost* Fluktuatif, *PV Cost* Stagnan)



Gambar 4. 15 Grafik harga listrik *grid* dengan *PV* saat harga *grid* fluktuatif

Pada skenario keempat diasumsikan bahwa harga *grid* fluktuatif tergantung beban puncak, semakin tinggi harga semakin mahal, sedangkan harga *PV* diasumsikan stagnan. Sama seperti pada skenario sebelumnya akan dicoba tiga keadaan baterai yaitu ketika kapasitas baterai kurang dari 20%, diantara 20-50%, dan diatas 50%.

a. Kapasitas baterai < 20%

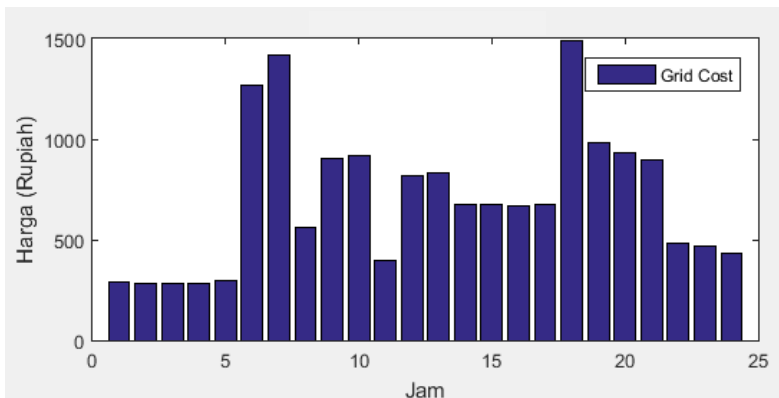
Tabel 4.26 hasil perhitungan biaya listrik skenario empat a

| Jam | Beban (kWh) | Harga Listrik (Rupiah) |      | Ftot (Rupiah) |
|-----|-------------|------------------------|------|---------------|
|     |             | Grid                   | PV   |               |
| 1   | 0.192       | 1517                   | 1042 | 291.35331     |
| 2   | 0.192       | 1484                   | 1042 | 284.9231      |
| 3   | 0.192       | 1475                   | 1042 | 283.24225     |
| 4   | 0.192       | 1467                   | 1042 | 281.71776     |
| 5   | 0.192       | 1536                   | 1042 | 294.94954     |
| 6   | 0.82        | 1547                   | 1042 | 1268.9458     |
| 7   | 0.945       | 1503                   | 1042 | 1419.8637     |
| 8   | 0.345       | 1629                   | 1042 | 562.08663     |
| 9   | 0.52        | 1732                   | 1042 | 900.56015     |
| 10  | 0.52        | 1764                   | 1042 | 917.07545     |
| 11  | 0.22        | 1794                   | 1042 | 394.57759     |
| 12  | 0.48        | 1702                   | 1042 | 816.77433     |
| 13  | 0.48        | 1738                   | 1042 | 834.07142     |
| 14  | 0.38        | 1782                   | 1042 | 677.09465     |



| Jam | Beban (kWh) | Harga Listrik (Rupiah) |      | Ftot (Rupiah) |
|-----|-------------|------------------------|------|---------------|
|     |             | Grid                   | PV   |               |
| 15  | 0.38        | 1768                   | 1042 | 671.67913     |
| 16  | 0.38        | 1753                   | 1042 | 666.10888     |
| 17  | 0.38        | 1767                   | 1042 | 671.36967     |
| 18  | 0.777       | 1919                   | 1042 | 1490.9424     |
| 19  | 0.517       | 1906                   | 1042 | 985.62208     |
| 20  | 0.517       | 1808                   | 1042 | 934.52004     |
| 21  | 0.517       | 1739                   | 1042 | 898.99596     |
| 22  | 0.292       | 1629                   | 1042 | 475.58847     |
| 23  | 0.292       | 1579                   | 1042 | 461.11274     |
| 24  | 0.292       | 1456                   | 1042 | 425.26526     |

Hasil perhitungan matlab pada tabel 4.26 dapat disajikan dalam bentuk grafik pada gambar 4.16



**Gambar 4. 16** Total biaya terbangkit hasil perhitungan matlab skenario empat a

Hasil simulasi menghasilkan bahwa pada keadaan ini diskenario dua biaya paling optimal adalah ketika beban disuplai penuh oleh grid. Oleh karen aitu diperoleh lower bond dan upper bond

**Tabel 4.27** *lower bond* dan *upper bond* skenario empat a

| Kapasitas baterai <20% |      |    |
|------------------------|------|----|
| Batas                  | Grid | PV |
| lb                     | 0    | 0  |
| ub                     | 1    | 0  |

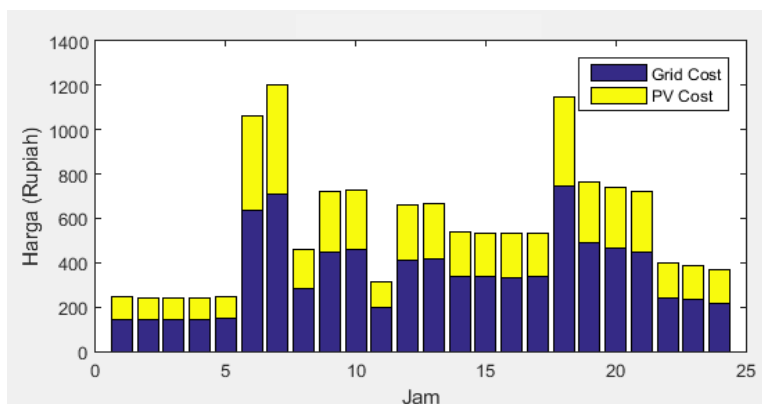
b. Kapasitas baterai diantara 20% sampai 50%

**Tabel 4.28 hasil perhitungan biaya listrik skenario empat b**

| Jam | Beban | Harga Listrik |      | Ftot<br>(1) | Ftot<br>(2) | Ftot<br>(3) | Ftot<br>(4) | Ftot<br>(5)  |
|-----|-------|---------------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
|     |       | Grid          | PV   |             |             |             |             |              |
| 1   | 0.192 | 1517          | 1042 | 200.00      | 209.14      | 218.27      | 227.41      | 236.54       |
| 2   | 0.192 | 1484          | 1042 | 200.00      | 208.49      | 216.98      | 225.48      | 233.97       |
| 3   | 0.192 | 1475          | 1042 | 200.00      | 208.32      | 216.65      | 224.97      | 233.30       |
| 4   | 0.192 | 1467          | 1042 | 200.00      | 208.17      | 216.34      | 224.52      | 232.69       |
| 5   | 0.192 | 1536          | 1042 | 200.00      | 209.49      | 218.99      | 228.48      | 237.98       |
| 6   | 0.82  | 1547          | 1042 | 854.17      | 895.64      | 937.12      | 978.60      | 1020.1       |
| 7   | 0.945 | 1503          | 1042 | 984.38      | 1027.9      | 1071.5      | 1115.0      | 1158.6       |
| 8   | 0.345 | 1629          | 1042 | 359.38      | 379.65      | 399.92      | 420.19      | 440.46       |
| 9   | 0.52  | 1732          | 1042 | 541.67      | 577.56      | 613.45      | 649.33      | 685.22       |
| 10  | 0.52  | 1764          | 1042 | 541.67      | 579.21      | 616.75      | 654.29      | 691.83       |
| 11  | 0.22  | 1794          | 1042 | 229.17      | 245.71      | 262.25      | 278.79      | 295.33       |
| 12  | 0.48  | 1702          | 1042 | 500.00      | 531.68      | 563.35      | 595.03      | 626.71       |
| 13  | 0.48  | 1738          | 1042 | 500.00      | 533.41      | 566.81      | 600.22      | 633.63       |
| 14  | 0.38  | 1782          | 1042 | 395.83      | 423.96      | 452.09      | 480.21      | 508.34       |
| 15  | 0.38  | 1768          | 1042 | 395.83      | 423.42      | 451.00      | 478.59      | 506.17       |
| 16  | 0.38  | 1753          | 1042 | 395.83      | 422.86      | 449.89      | 476.92      | 503.94       |
| 17  | 0.38  | 1767          | 1042 | 395.83      | 423.39      | 450.94      | 478.49      | 506.05       |
| 18  | 0.777 | 1919          | 1042 | 809.38      | 877.53      | 945.69      | 1013.8      | 1082.0       |
| 19  | 0.517 | 1906          | 1042 | 538.54      | 583.25      | 627.96      | 672.67      | 717.37       |
| 20  | 0.517 | 1808          | 1042 | 538.54      | 578.14      | 617.74      | 657.34      | 696.93       |
| 21  | 0.517 | 1739          | 1042 | 538.54      | 574.59      | 610.63      | 646.68      | 682.72       |
| 22  | 0.292 | 1629          | 1042 | 304.17      | 321.31      | 338.45      | 355.59      | 372.74       |
| 23  | 0.292 | 1579          | 1042 | 304.17      | 319.86      | 335.56      | 351.25      | 366.95       |
| 24  | 0.292 | 1456          | 1042 | 304.17      | 316.28      | 328.39      | 340.50      | 352.61       |
| Jam | Beban | Harga Listrik |      | Ftot<br>(6) | Ftot<br>(7) | Ftot<br>(8) | Ftot<br>(9) | Ftot<br>(10) |
|     |       | Grid          | PV   |             |             |             |             |              |
| 1   | 0.192 | 1517          | 1042 | 245.68      | 254.81      | 273.08      | 282.22      | 282.22       |
| 2   | 0.192 | 1484          | 1042 | 242.46      | 250.95      | 267.94      | 276.43      | 276.43       |
| 3   | 0.192 | 1475          | 1042 | 241.62      | 249.95      | 266.59      | 274.92      | 274.92       |
| 4   | 0.192 | 1467          | 1042 | 240.86      | 249.03      | 265.37      | 273.55      | 273.55       |
| 5   | 0.192 | 1536          | 1042 | 247.47      | 256.97      | 275.96      | 285.45      | 285.45       |
| 6   | 0.82  | 1547          | 1042 | 1061.6      | 1103.0      | 1186.0      | 1227.5      | 1227.5       |
| 7   | 0.945 | 1503          | 1042 | 1202.1      | 1245.7      | 1332.8      | 1376.3      | 1376.3       |
| 8   | 0.345 | 1629          | 1042 | 460.73      | 481.00      | 521.54      | 541.82      | 541.82       |
| 9   | 0.52  | 1732          | 1042 | 721.11      | 757.00      | 828.78      | 864.67      | 864.67       |
| 10  | 0.52  | 1764          | 1042 | 729.37      | 766.91      | 841.99      | 879.53      | 879.53       |
| 11  | 0.22  | 1794          | 1042 | 311.87      | 328.41      | 361.50      | 378.04      | 378.04       |
| 12  | 0.48  | 1702          | 1042 | 658.39      | 690.06      | 753.42      | 785.10      | 785.10       |
| 13  | 0.48  | 1738          | 1042 | 667.04      | 700.44      | 767.26      | 800.66      | 800.66       |
| 14  | 0.38  | 1782          | 1042 | 536.46      | 564.59      | 620.84      | 648.97      | 648.97       |
| 15  | 0.38  | 1768          | 1042 | 533.76      | 561.34      | 616.51      | 644.09      | 644.09       |

| Jam | Beban | Harga Listrik |      | Ftot<br>(6) | Ftot<br>(7) | Ftot<br>(8) | Ftot<br>(9) | Ftot<br>(10) |
|-----|-------|---------------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
|     |       | Grid          | PV   |             |             |             |             |              |
| 16  | 0.38  | 1753          | 1042 | 530.97      | 558.00      | 612.05      | 639.08      | 639.08       |
| 17  | 0.38  | 1767          | 1042 | 533.60      | 561.16      | 616.26      | 643.82      | 643.82       |
| 18  | 0.777 | 1919          | 1042 | 1150.2      | 1218.3      | 1354.6      | 1422.8      | 1422.8       |
| 19  | 0.517 | 1906          | 1042 | 762.08      | 806.79      | 896.21      | 940.91      | 940.91       |
| 20  | 0.517 | 1808          | 1042 | 736.53      | 776.13      | 855.32      | 894.92      | 894.92       |
| 21  | 0.517 | 1739          | 1042 | 718.77      | 754.81      | 826.91      | 862.95      | 862.95       |
| 22  | 0.292 | 1629          | 1042 | 389.88      | 407.02      | 441.30      | 458.45      | 458.45       |
| 23  | 0.292 | 1579          | 1042 | 382.64      | 398.33      | 429.72      | 445.42      | 445.42       |
| 24  | 0.292 | 1456          | 1042 | 364.72      | 376.83      | 401.05      | 413.16      | 413.16       |

Hasil perhitungan matlab pada tabel 4.28 dapat disajikan dalam bentuk grafik pada gambar 4.17



**Gambar 4. 17** Total biaya terbangkit hasil perhitungan matlab skenario empat b

Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada keadaan ini biaya optimal atau paling hemat terjadi ketika beban disuplai dengan dua sumber yaitu dari grid dan PV. Kombinasi paling optimal adalah ketika *grid* mensuplai 50% dan *PV* 50%. Sehingga didapatkan *lower bond* dan *upper bond* pada tabel 4.29

**Tabel 4.29** *lower bond* dan *upper bond* skenario empat b

| 20% < kapasitas baterai < 50% |      |     |
|-------------------------------|------|-----|
| Batas                         | Grid | PV  |
| lb                            | 0    | 0   |
| ub                            | 0.5  | 0.5 |

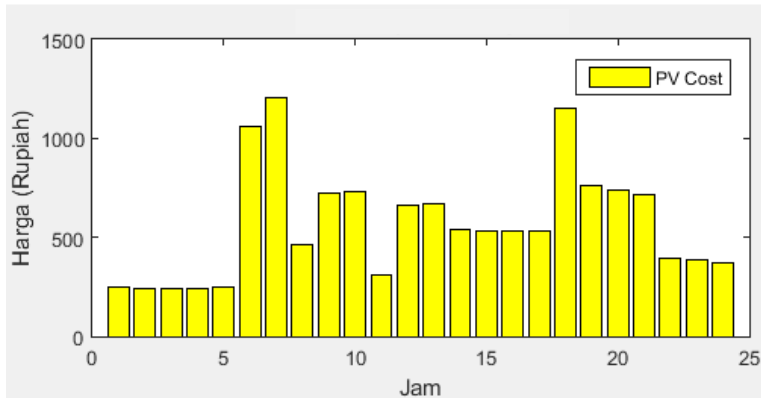
- c. Kapasitas baterai lebih besar dari 50%

**Tabel 4.30** hasil perhitungan biaya listrik skenario empat c

| Jam | Beban (kWh) | Harga Listrik (Rupiah) |      | Ftot (Rupiah) |
|-----|-------------|------------------------|------|---------------|
|     |             | Grid                   | PV   |               |
| 1   | 0.192       | 1517                   | 1042 | 200.00001     |
| 2   | 0.192       | 1484                   | 1042 | 200.00001     |
| 3   | 0.192       | 1475                   | 1042 | 200.00001     |
| 4   | 0.192       | 1467                   | 1042 | 200.00001     |
| 5   | 0.192       | 1536                   | 1042 | 200.00001     |
| 6   | 0.82        | 1547                   | 1042 | 854.16669     |
| 7   | 0.945       | 1503                   | 1042 | 984.37503     |
| 8   | 0.345       | 1629                   | 1042 | 359.37501     |
| 9   | 0.52        | 1732                   | 1042 | 541.66668     |
| 10  | 0.52        | 1764                   | 1042 | 541.66668     |
| 11  | 0.22        | 1794                   | 1042 | 229.16667     |
| 12  | 0.48        | 1702                   | 1042 | 500.00002     |
| 13  | 0.48        | 1738                   | 1042 | 500.00002     |
| 14  | 0.38        | 1782                   | 1042 | 395.83335     |
| 15  | 0.38        | 1768                   | 1042 | 395.83335     |
| 16  | 0.38        | 1753                   | 1042 | 395.83335     |
| 17  | 0.38        | 1767                   | 1042 | 395.83335     |
| 18  | 0.777       | 1919                   | 1042 | 809.37503     |
| 19  | 0.517       | 1906                   | 1042 | 538.54168     |
| 20  | 0.517       | 1808                   | 1042 | 538.54168     |
| 21  | 0.517       | 1739                   | 1042 | 538.54168     |
| 22  | 0.292       | 1629                   | 1042 | 304.16668     |
| 23  | 0.292       | 1579                   | 1042 | 304.16668     |
| 24  | 0.292       | 1456                   | 1042 | 304.16668     |

Hasil perhitungan matlab pada tabel 4.30 dapat disajikan dalam bentuk grafik pada gambar 4.18.

Pada skenario empat hasil simulasi menunjukkan bahwa biaya paling optimal atau hemat adalah ketika beban sisuplai penuh oleh *PV*. Dari hasil simulasi maka dapat didapat *lower bond* dan *upper bond* seperti pada tabel 4.31.



Gambar 4. 18 Total biaya terbangkit hasil perhitungan matlab skenario empat c

Tabel 4.31 *lower bond* dan *upper bond* skenario empat c


| Kapasitas baterai > 50% |      |    |
|-------------------------|------|----|
| Batas                   | Grid | PV |
| lb                      | 0    | 0  |
| ub                      | 0    | 1  |

Maka dapat pada skenario harga *grid* fluktuatif dan harga *PV* konstan didapatkan lower bond dan upper bond seperti tabel 4.32

Tabel 4.25 *lower bond* dan *upper bond* skenario empat

| Batas | <20% |    | 20%-50% |     | >50% |    |
|-------|------|----|---------|-----|------|----|
|       | Grid | PV | Grid    | PV  | Grid | PV |
| lb    | 0    | 0  | 0       | 0   | 0    | 0  |
| up    | 1    | 0  | 0.5     | 0.5 | 0    | 1  |

## 4.3 Eksperimen Pada Aplikasi Web



MENU

- Dashboard
- Energy Assesment
- Power Monitoring
- Appliances Monitoring
- Energy Saving

### Energy Assesment

Pilih Lokasi : Surabaya

Potensi Solar Panel : 2018/5

4.64 kWh/m2

SAVE

Kapasitas Baterai\*
800
Ah

Tegangan Baterai\*
12
V

Kapasitas Solar Panel
800
Watt Peak

Lifetime Sistem Solar Panel\*
3
Tahun

Daya Listrik Rumah
450
VA

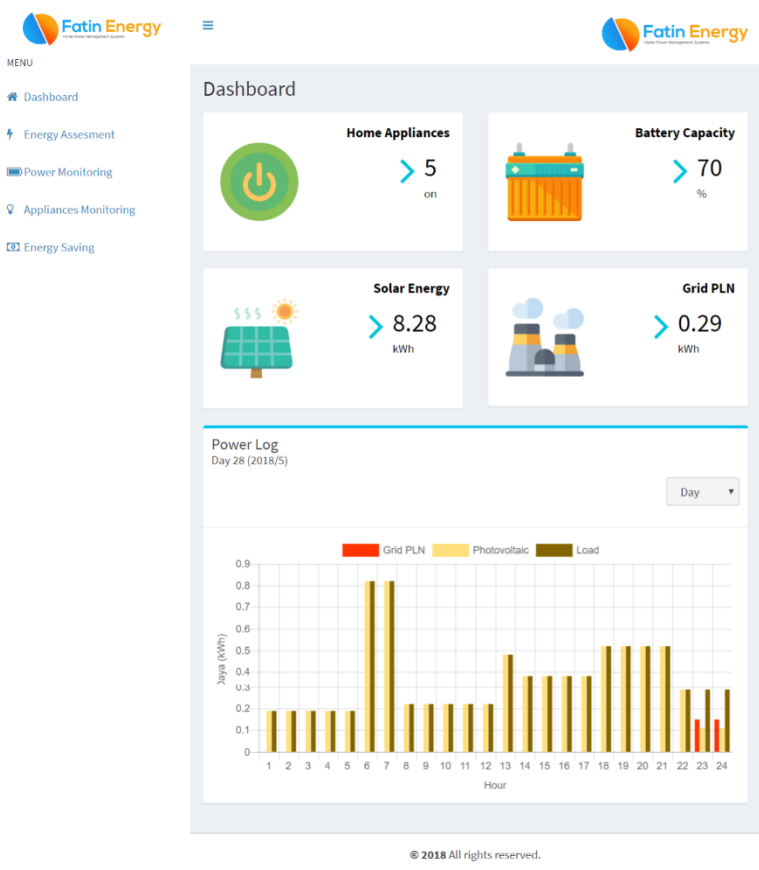
Biaya Investasi\*
100000
Rupiah

### Rekomendasi Power

| No | Jam Ke- | Rekomendasi | Action |
|----|---------|-------------|--------|
| 1  | 1       | Panel Surya | Apply  |
| 2  | 2       | Panel Surya | Apply  |
| 3  | 3       | Panel Surya | Apply  |
| 4  | 4       | Panel Surya | Apply  |
| 5  | 5       | Panel Surya | Apply  |
| 6  | 6       | Panel Surya | Apply  |
| 7  | 7       | Panel Surya | Apply  |
| 8  | 8       | Panel Surya | Apply  |
| 9  | 9       | Panel Surya | Apply  |
| 10 | 10      | Panel Surya | Apply  |

### Edit Appliances Switch

| No | Nama Perangkat     | Action |
|----|--------------------|--------|
| 1  | Lampu Kamar 1 Lt 1 | Update |
| 2  | Lampu Kamar 2 Lt 1 | Update |
| 3  | Lampu Kamar 3 Lt 1 | Update |
| 4  | Lampu Kamar 1 Lt 2 | Update |
| 5  | Lampu Kamar 2 Lt 2 | Update |
| 6  | Pompa              | Update |
| 7  | Kulkas             | Update |
| 8  |                    | Update |

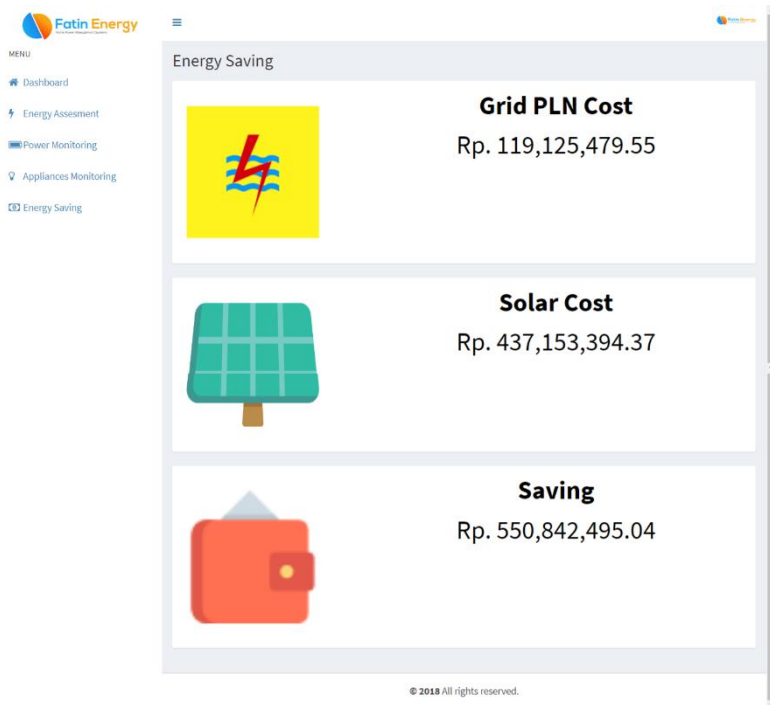


**Gambar 4. 20** Tampilan aplikasi web fitur *dashboard*

Data yang telah diambil oleh sensor akan dikirim ke sistem, setelah mendapatkan informasi harga makan sistem akan melakukan perhitungan menggunakan *Mixed Integer Lienar Programming (MILP)*

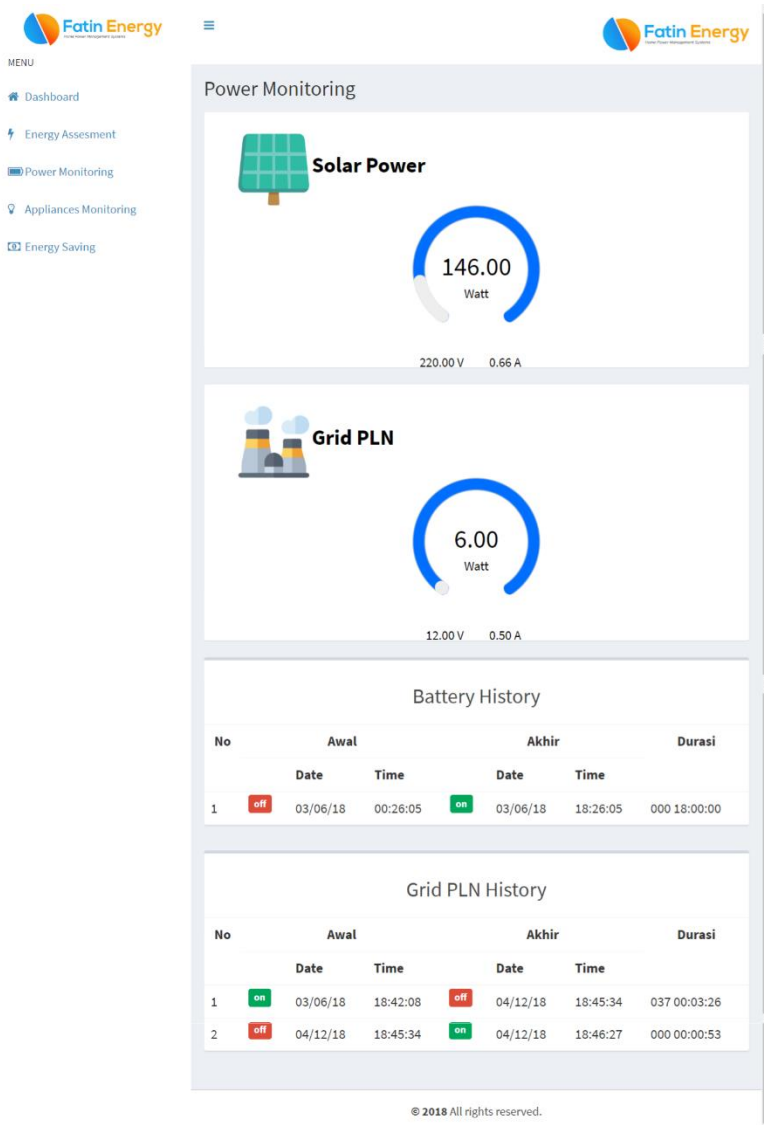
**Gambar 4. 19** Tampilan aplikasi web fitur *energy assesment* sesuai dengan *lower bond* dan *upper bond* yang diberikan. Pada gambar

4.18, fitur *ennery assesment* pengguna dapat mendefinisikan beban yang digunakan. Gambar 4.19, fitur *dashboard* diman pengguna dapat melihat komsumsi daya dari *grid* PLN atau *PV*. Pada gambar 4.22 adalah fitur *appliance monitoring*, pada halaman ini pengguna dapat memantau dan mengendalikan dari sisi *power resources* (*gird* dan *microgrid*) dan sisi konsumen (peralatan elektronik). Pada fitur *enegy saving* di gambar 4.20 pengguna dapat memantau biaya konsumsi energi listrik.

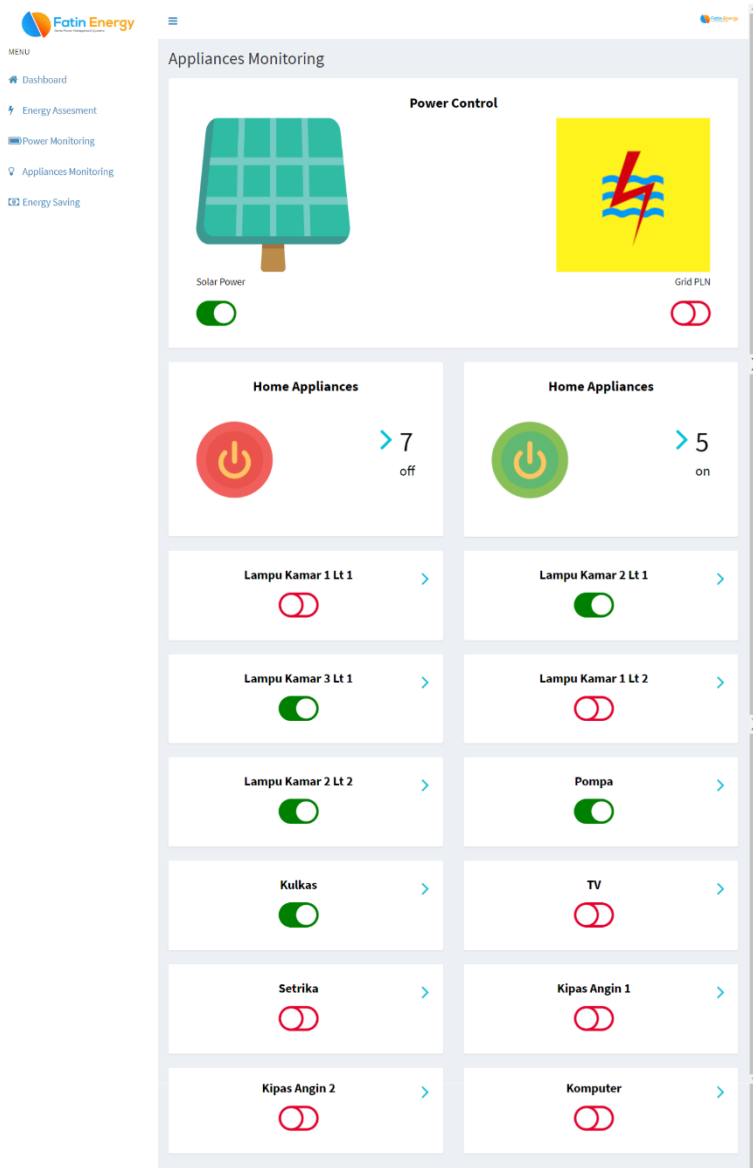


**Gambar 4. 21** Tampilan aplikasi web fitur *energy saving*





**Gambar 4. 22** Tampilan aplikasi web fitur *power monitoring*



Gambar 4. 23 Tampilan aplikasi web fitur *appliance monitoring*

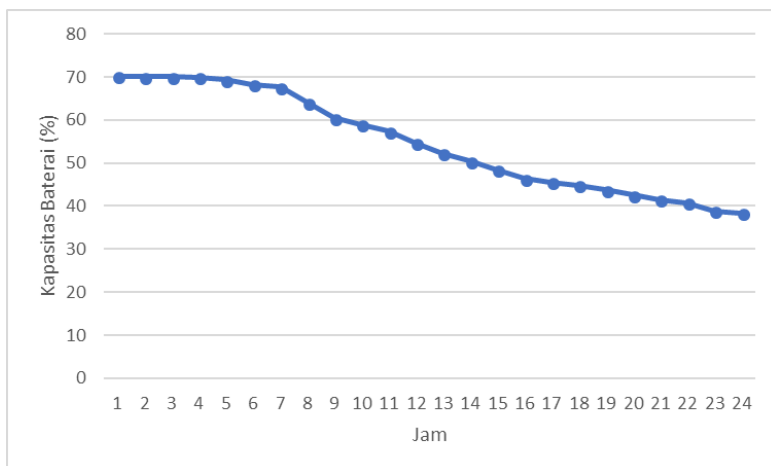
### 4.3.1 Eksperimen Satu pada Aplikasi Web

Pada eksperimen kali ini aplikasi web akan memproses data sensor dan informasi harga yang dikeluarkan oleh PLN.

**Tabel 4.33 Data sensor eksperimen satu**

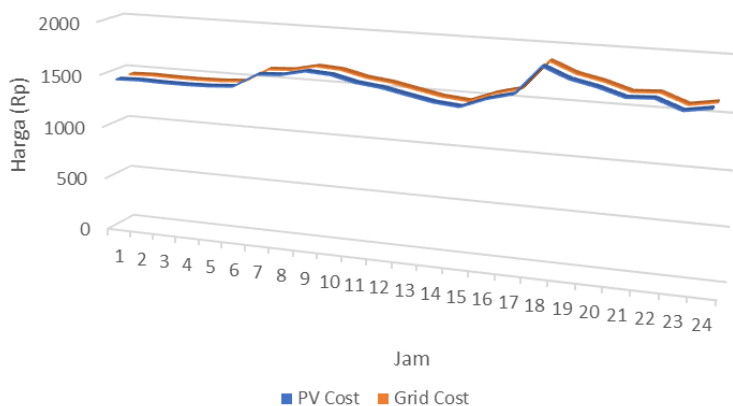
| Jam | Energy Storage |          | Beban | Grid |          | Inverter |          |
|-----|----------------|----------|-------|------|----------|----------|----------|
|     | V              | %        |       | V    | I        | V        | I        |
| 1   | 12.36195       | 70.16761 | 168   | 220  | 0        | 220      | 0.763636 |
| 2   | 12.35017       | 70.11152 | 168   | 220  | 0        | 220      | 0.763636 |
| 3   | 12.3394        | 70.0602  | 154   | 220  | 0        | 220      | 0.7      |
| 4   | 12.32599       | 69.99635 | 192   | 220  | 0        | 220      | 0.872727 |
| 5   | 12.31261       | 69.30952 | 192   | 220  | 0        | 220      | 0.872727 |
| 6   | 12.30065       | 68.31275 | 172   | 220  | 0        | 220      | 0.781818 |
| 7   | 12.29231       | 67.61848 | 120   | 220  | 0        | 220      | 0.545455 |
| 8   | 12.24945       | 64.04633 | 620   | 220  | 0        | 220      | 2.818182 |
| 9   | 12.20688       | 60.49901 | 620   | 220  | 0        | 220      | 2.818182 |
| 10  | 12.18502       | 58.97602 | 320   | 220  | 0        | 220      | 1.454545 |
| 11  | 12.16324       | 57.42045 | 320   | 220  | 0        | 220      | 1.454545 |
| 12  | 12.12397       | 54.61508 | 580   | 220  | 0        | 220      | 2.636364 |
| 13  | 12.09166       | 52.30707 | 480   | 220  | 0        | 220      | 2.181818 |
| 14  | 12.0662        | 50.4886  | 380   | 220  | 0        | 220      | 1.727273 |
| 15  | 12.03353       | 48.39558 | 980   | 220  | 2.227273 | 220      | 2.227273 |
| 16  | 12.00104       | 46.36475 | 980   | 220  | 2.227273 | 220      | 2.227273 |
| 17  | 11.98848       | 45.58023 | 380   | 220  | 0.863636 | 220      | 0.863636 |
| 18  | 11.97145       | 44.83645 | 517   | 220  | 1.175    | 220      | 1.175    |
| 19  | 11.95446       | 43.70391 | 517   | 220  | 1.175    | 220      | 1.175    |
| 20  | 11.93752       | 42.57458 | 517   | 220  | 1.175    | 220      | 1.175    |
| 21  | 11.92063       | 41.44844 | 517   | 220  | 1.175    | 220      | 1.175    |
| 22  | 11.91111       | 40.81381 | 292   | 220  | 0.663636 | 220      | 0.663636 |
| 23  | 11.90161       | 38.85257 | 292   | 220  | 0.663636 | 220      | 0.663636 |
| 24  | 11.89446       | 38.43199 | 220   | 220  | 0.5      | 220      | 0.5      |

Setelah mendapatkan data dari sensor dan informasi harga dari PLN sistem akan melakukan kalkulasi otomatis, hasil kalkulasi paling optimal dengan biaya paling murah akan ditampilkan dalam menu *dashboard* pada kolom *power log*. Dari situ pengguna dapat mengetahui konsumsi daya paling optimal. Untuk menerapkan rekomendasi yang diberikan oleh sistem, pada fitur *energy assesment* pada kolom *power recommendation* pengguna dapat meng-*apply* rekomendasi.

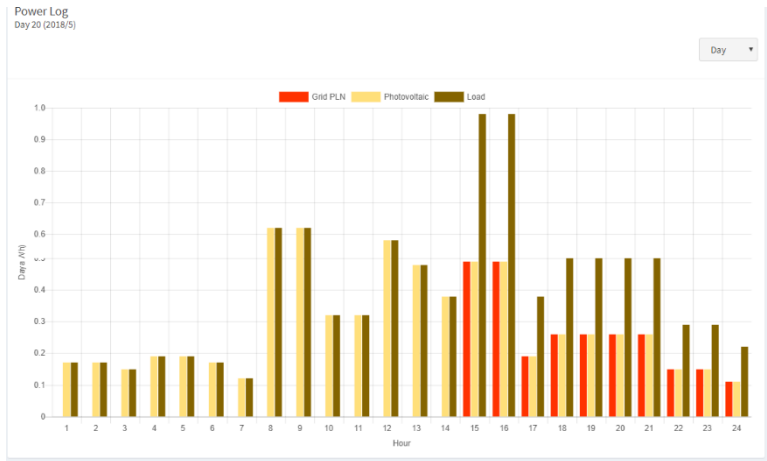


**Gambar 4.23 Kapasitas baterai**

Gambar 4.23 menginformasikan kapasitas baterai selama 24 jam. Kapasitas baterai tertinggi adalah 70% ketika jam 1 dan terendag 38% ketika jam 24. Sedangkan gambar 4.24 adalah grafik perubahan harga selama 24 jam.



**Gambar 4.24 Perubahan harga**



**Gambar 4.25 Tampilan *power log* pada eksperimen satu**

Pada eksperimen satu data yang diambil adalah data pada tanggal 20 Mei 2018. Pada hari tanggal tersebut harga *grid* lebih mahal dari pada harga *PV*. Dari gambar 4.23 dapat dilihat bahwa pada jam 1 hingga jam 14 sistem menggunakan satu sumber yaitu *PV* karena pada saat itu kapasitas baterai yang digunakan masih diatas 50%. Sedangkan pada jam 15 hingga 24 sistem menggunakan kombinasi dua sumber energi yaitu *grid* dan *PV*, karena harga *grid* lebih maha maka kedua sumber menggunakan *upper bond* 50% dari beban sehingga dapat dilihat pada gambar 4.25 kedua sumber membangkitkan energi listrik yang sama besar.

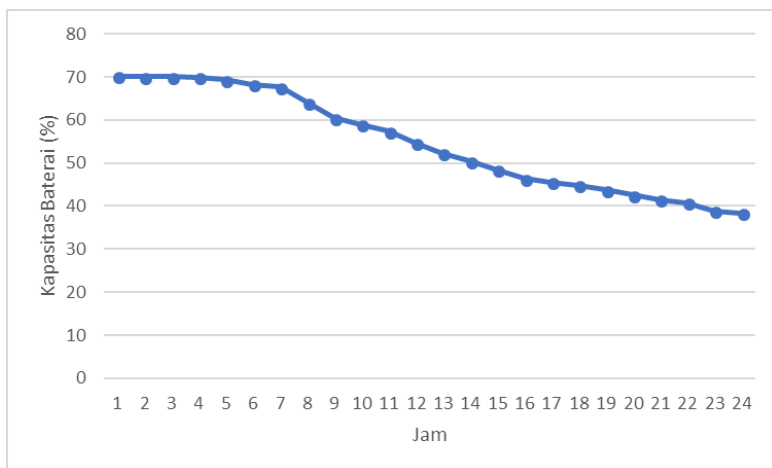
### 4.3.2 Eksperimen Dua pada Aplikasi Web

Pada eksperimen kali ini aplikasi web akan memproses data sensor dan informasi harga yang dikeluarkan oleh PLN. Data yang diambil pada eksperimen dua adalah data pada tanggal 27 Mei 2018. Pada tanggal tersebut harga listrik dari *grid* PLN adalah fluktuatif, sedangkan harga eneri listrik dari *photovoltaic system* yang dilengkapi dengan *energy storage*. Data sensor pada tanggal 27 Mei 2018 di informasikan pada tabel 4.27

**Tabel 4.34 Data sensor eksperimen dua**

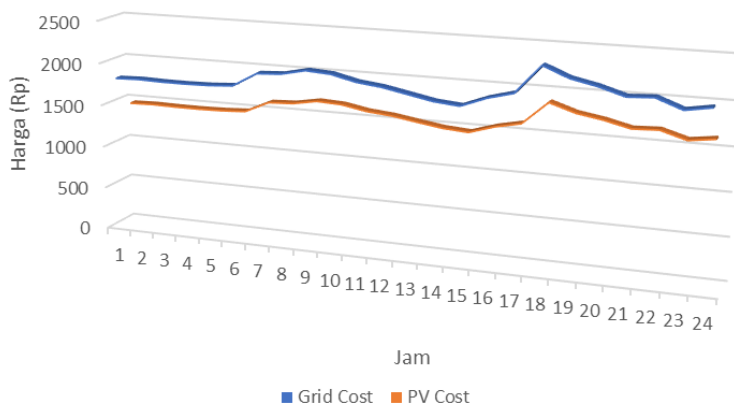
| Jam | Energy Storage |          | Beban | Grid |          | Inverter |          |
|-----|----------------|----------|-------|------|----------|----------|----------|
|     | V              | %        |       | V    | I        | V        | I        |
| 1   | 12.36195       | 70.16761 | 168   | 220  | 0        | 220      | 0.763636 |
| 2   | 12.35017       | 70.11152 | 168   | 220  | 0        | 220      | 0.763636 |
| 3   | 12.3394        | 70.0602  | 154   | 220  | 0        | 220      | 0.7      |
| 4   | 12.32599       | 69.99635 | 192   | 220  | 0        | 220      | 0.872727 |
| 5   | 12.31261       | 69.30952 | 192   | 220  | 0        | 220      | 0.872727 |
| 6   | 12.30065       | 68.31275 | 172   | 220  | 0        | 220      | 0.781818 |
| 7   | 12.29231       | 67.61848 | 120   | 220  | 0        | 220      | 0.545455 |
| 8   | 12.24945       | 64.04633 | 620   | 220  | 0        | 220      | 2.818182 |
| 9   | 12.20688       | 60.49901 | 620   | 220  | 0        | 220      | 2.818182 |
| 10  | 12.18502       | 58.97602 | 320   | 220  | 0        | 220      | 1.454545 |
| 11  | 12.16324       | 57.42045 | 320   | 220  | 0        | 220      | 1.454545 |
| 12  | 12.12397       | 54.61508 | 580   | 220  | 0        | 220      | 2.636364 |
| 13  | 12.09166       | 52.30707 | 480   | 220  | 0        | 220      | 2.181818 |
| 14  | 12.0662        | 50.4886  | 380   | 220  | 0        | 220      | 1.727273 |
| 15  | 12.03353       | 48.39558 | 980   | 220  | 2.227273 | 220      | 2.227273 |
| 16  | 12.00104       | 46.36475 | 980   | 220  | 2.227273 | 220      | 2.227273 |
| 17  | 11.98848       | 45.58023 | 380   | 220  | 0.863636 | 220      | 0.863636 |
| 18  | 11.97145       | 44.83645 | 517   | 220  | 1.175    | 220      | 1.175    |
| 19  | 11.95446       | 43.70391 | 517   | 220  | 1.175    | 220      | 1.175    |
| 20  | 11.93752       | 42.57458 | 517   | 220  | 1.175    | 220      | 1.175    |
| 21  | 11.92063       | 41.44844 | 517   | 220  | 1.175    | 220      | 1.175    |
| 22  | 11.91111       | 40.81381 | 292   | 220  | 0.663636 | 220      | 0.663636 |
| 23  | 11.90161       | 38.85257 | 292   | 220  | 0.663636 | 220      | 0.663636 |
| 24  | 11.89446       | 38.43199 | 220   | 220  | 0.5      | 220      | 0.5      |

Setelah mendapatkan data dari sensor dan informasi harga dari PLN sistem akan melakukan kalkulasi metamatis, hasil kalkulasi paling optimal dengan biaya paling murah akan ditampilkan dalam menu *dashboard* pada kolom *power log*. Dari situ pengguna dapat mengetahui konsumsi daya paling optimal. Untuk menerapkan rekomendasi yang diberikan oleh sistem, pada fitur *energy assesment* pada kolom *power recommendation* pengguna dapat meng-*apply* rekomendasi. Hasil perhitungan sistem yang memuat pembebanan sumber energi yang digunakan dapat dilihat pada gambar 4.28.

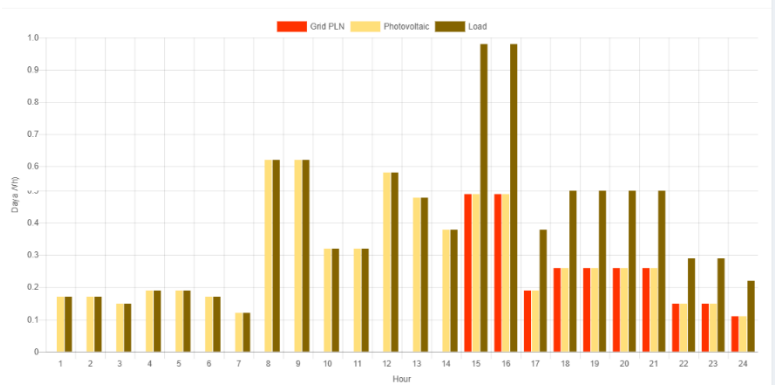


**Gambar 4.26 Kapasitas baterai**

Gambar 4.26 menginformasikan kapasitas baterai selama 24 jam. Kapasitas baterai tertinggi adalah 70% ketika jam 1 dan terendag 38% ketika jam 24. Sedangkan gambar 4.27 adalah grafik perubahan harga selama 24 jam.



**Gambar 4.27 Perubahan harga**



**Gambar 4.28 Tampilan power log pada eksperimen dua**

Eksperimen dua adalah ketika harga *grid* fluktuatif dan harga *PV* stagnan. Dari gambar 4.26 dapat dilihat bahwa pada jam 1 hingga jam 14 sistem menggunakan satu sumber yaitu *PV* karena pada saat itu kapasitas baterai yang digunakan masih diatas 50%. Sedangkan pada jam 15 hingga 24 sistem menggunakan kombinasi dua sumber energi yaitu *grid* dan *PV*, karena harga *grid* lebih mahal maka kedua sumber menggunakan *upper bond* 50% dari beban sehingga dapat dilihat pada gambar 4.24 kedua sumber membangkitkan energi listrik yang sama besar.

### 4.3.3 Eksperimen Tiga pada Aplikasi Web

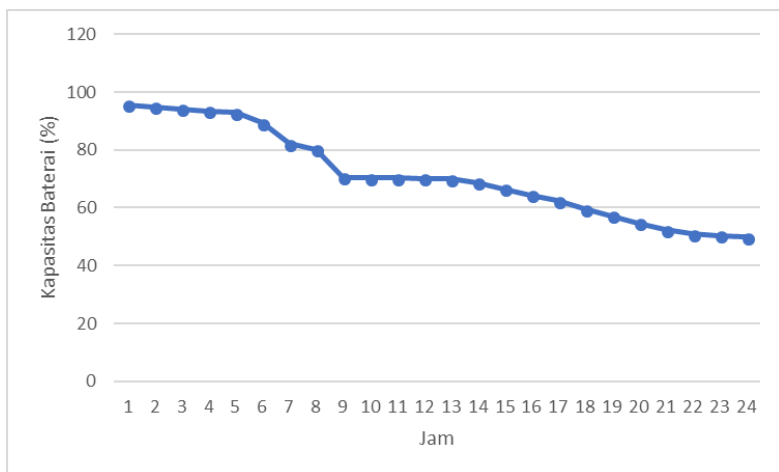
Pada eksperimen kali ini aplikasi web akan memproses data sensor dan informasi harga yang dikeluarkan oleh PLN. Data yang diambil pada eksperimen dua adalah data pada tanggal 28 Mei 2018. Pada tanggal tersebut harga listrik dari *grid* PLN adalah sama dengan harga *photovoltaic system* yang dilengkapi dengan *energy storage*. Data sensor pada tanggal 28 Mei 2018 di informasikan pada tabel 4.28



**Tabel 4.35 Data sensor eksperimen tiga**

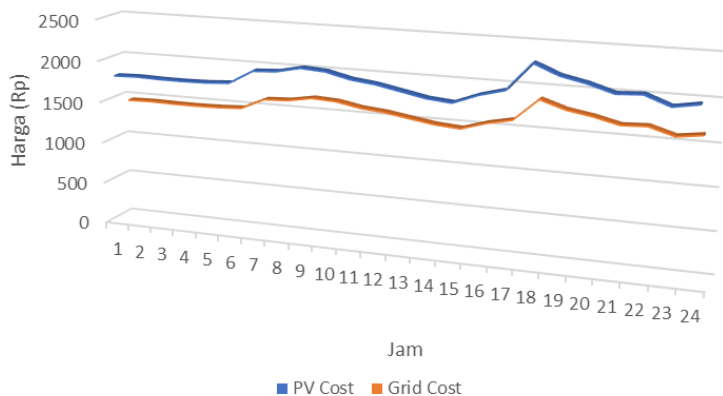
| Jam | Energy Storage |          | Beban | Grid |          | Inverter |          |
|-----|----------------|----------|-------|------|----------|----------|----------|
|     | V              | %        |       | V    | I        | V        | I        |
| 1   | 12.61124       | 95.56211 | 192   | 220  | 0        | 220      | 0.872727 |
| 2   | 12.59751       | 94.87573 | 192   | 220  | 0        | 220      | 0.872727 |
| 3   | 12.58382       | 94.19083 | 192   | 220  | 0        | 220      | 0.872727 |
| 4   | 12.57015       | 93.50742 | 192   | 220  | 0        | 220      | 0.872727 |
| 5   | 12.55651       | 92.8255  | 192   | 220  | 0        | 220      | 0.872727 |
| 6   | 12.49859       | 89.32422 | 820   | 220  | 0        | 220      | 3.727273 |
| 7   | 12.44121       | 82.15118 | 820   | 220  | 0        | 220      | 3.727273 |
| 8   | 12.4259        | 80.23789 | 220   | 220  | 0        | 220      | 1        |
| 9   | 12.41063       | 70.39944 | 220   | 220  | 0        | 220      | 1        |
| 10  | 12.3954        | 70.32691 | 220   | 220  | 0        | 220      | 1        |
| 11  | 12.38021       | 70.25456 | 220   | 220  | 0        | 220      | 1        |
| 12  | 12.36505       | 70.18238 | 220   | 220  | 0        | 220      | 1        |
| 13  | 12.33211       | 70.02552 | 480   | 220  | 0        | 220      | 2.181818 |
| 14  | 12.30616       | 68.7722  | 380   | 220  | 0        | 220      | 1.727273 |
| 15  | 12.28031       | 66.61856 | 380   | 220  | 0        | 220      | 1.727273 |
| 16  | 12.25458       | 64.47395 | 380   | 220  | 0        | 220      | 1.727273 |
| 17  | 12.22895       | 62.3383  | 380   | 220  | 0        | 220      | 1.727273 |
| 18  | 12.19425       | 59.63541 | 517   | 220  | 0        | 220      | 2.35     |
| 19  | 12.15975       | 57.17104 | 517   | 220  | 0        | 220      | 2.35     |
| 20  | 12.12545       | 54.72057 | 517   | 220  | 0        | 220      | 2.35     |
| 21  | 12.09133       | 52.28388 | 517   | 220  | 0        | 220      | 2.35     |
| 22  | 12.07215       | 50.9137  | 292   | 220  | 0        | 220      | 1.327273 |
| 23  | 12.06494       | 50.39866 | 292   | 220  | 0        | 220      | 1.327273 |
| 24  | 12.05774       | 49.90864 | 292   | 220  | 0.530909 | 220      | 0.796364 |

Hasil perhitungan sistem yang memuat pembebanan sumber energi yang digunakan dapat dilihat pada gambar 4.315. Eksperimen tiga adalah ketika harga *grid* sama dengan harga *PV*. Dari gambar 4.31 dapat dilihat bahwa pada jam 1 hingga jam 22 sistem menggunakan satu sumber yaitu *PV* karena pada saat itu kapasitas baterai yang digunakan masih diatas 50%. Sedangkan pada jam 13 hingga 24 sistem menggunakan kombinasi dua sumber energi yaitu *grid* dan *PV*, karena harga *grid* sama mak kedua sumber menggunakan *upper bond* yang berbeda, 60% untuk *grid* dan 40% untuk *PV system*.

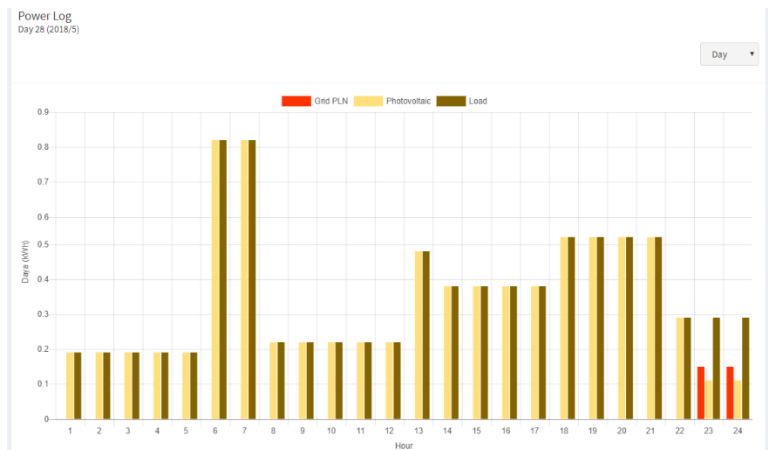


**Gambar 4.29 Kapasitas baterai**

Gambar 4.29 menginformasikan kapasitas baterai selama 24 jam. Kapasitas baterai tertinggi adalah 95.5% ketika jam 1 dan terendag 49.9% ketika jam 24. Sedangkan gambar 4.30 adalah grafik perubahan harga selama 24 jam.



**Gambar 4.30 Perubahan harga**



Gambar 4.31Tampilan *power log* pada eksperimen tiga

#### 4.3.4 Eksperimen Empat pada Aplikasi Web

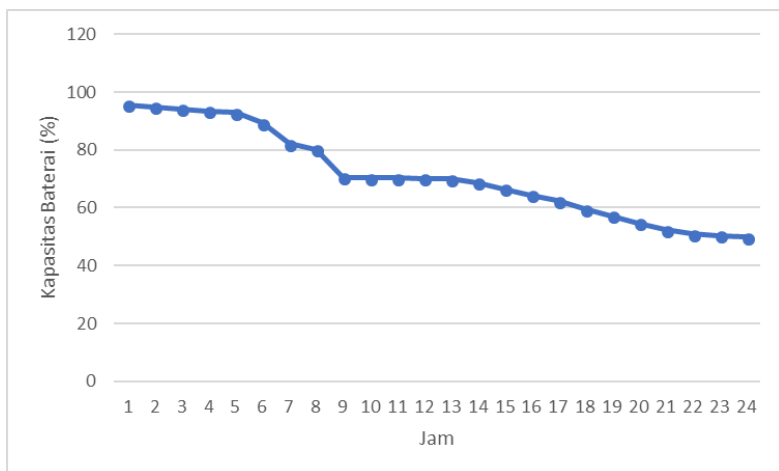
Pada eksperimen kali ini aplikasi web akan memproses data sensor dan informasi harga yang dikeluarkan oleh PLN. Data yang diambil pada eksperimen dua adalah data pada tanggal 29 Mei 2018. Pada tanggal tersebut harga listrik dari *grid* PLN lebih murah dari *photovoltaic system* yang dilengkapi dengan *energy storage*. Data sensor pada tanggal 29 Mei 2018 di informasikan pada tabel 4.29

Tabel 4.36 Data sensor eksperimen empat

| Jam | Energy Storage |          | Beban | Grid |   | Inverter |          |
|-----|----------------|----------|-------|------|---|----------|----------|
|     | V              | %        |       | V    | I | V        | I        |
| 1   | 12.61124       | 95.56211 | 192   | 220  | 0 | 220      | 0.872727 |
| 2   | 12.59751       | 94.87573 | 192   | 220  | 0 | 220      | 0.872727 |
| 3   | 12.58382       | 94.19083 | 192   | 220  | 0 | 220      | 0.872727 |
| 4   | 12.57015       | 93.50742 | 192   | 220  | 0 | 220      | 0.872727 |
| 5   | 12.55651       | 92.8255  | 192   | 220  | 0 | 220      | 0.872727 |
| 6   | 12.49859       | 89.32422 | 820   | 220  | 0 | 220      | 3.727273 |
| 7   | 12.44121       | 82.15118 | 820   | 220  | 0 | 220      | 3.727273 |
| 8   | 12.4259        | 80.23789 | 220   | 220  | 0 | 220      | 1        |
| 9   | 12.41063       | 70.39944 | 220   | 220  | 0 | 220      | 1        |
| 10  | 12.3954        | 70.32691 | 220   | 220  | 0 | 220      | 1        |

| Jam | Energy Storage |          | Beban | Grid |          | Inverter |          |
|-----|----------------|----------|-------|------|----------|----------|----------|
|     | V              | %        |       | V    | I        | V        | I        |
| 11  | 12.38021       | 70.25456 | 220   | 220  | 0        | 220      | 1        |
| 12  | 12.36505       | 70.18238 | 220   | 220  | 0        | 220      | 1        |
| 13  | 12.33211       | 70.02552 | 480   | 220  | 0        | 220      | 2.181818 |
| 14  | 12.30616       | 68.7722  | 380   | 220  | 0        | 220      | 1.727273 |
| 15  | 12.28031       | 66.61856 | 380   | 220  | 0        | 220      | 1.727273 |
| 16  | 12.25458       | 64.47395 | 380   | 220  | 0        | 220      | 1.727273 |
| 17  | 12.22895       | 62.3383  | 380   | 220  | 0        | 220      | 1.727273 |
| 18  | 12.19425       | 59.63541 | 517   | 220  | 0        | 220      | 2.35     |
| 19  | 12.15975       | 57.17104 | 517   | 220  | 0        | 220      | 2.35     |
| 20  | 12.12545       | 54.72057 | 517   | 220  | 0        | 220      | 2.35     |
| 21  | 12.09133       | 52.28388 | 517   | 220  | 0        | 220      | 2.35     |
| 22  | 12.07215       | 50.9137  | 292   | 220  | 0        | 220      | 1.327273 |
| 23  | 12.06494       | 50.39866 | 292   | 220  | 0        | 220      | 1.327273 |
| 24  | 12.05774       | 49.90864 | 292   | 220  | 0.530909 | 220      | 0.796364 |

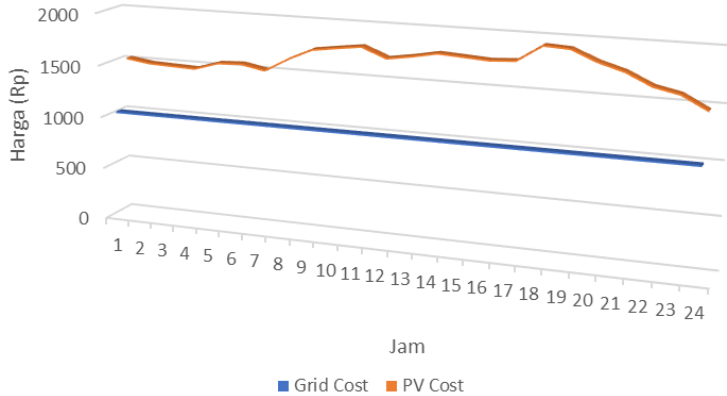
Eksperimen dua adalah ketika harga *grid* lebih murah dan harga *PV*. Dari gambar 4.34 dapat dilihat bahwa dari jam 1 hingga 14 beban disuplai oleh *PV* sedangkan jam 15 hingga 24 beban disuplai dua sumber dengan *limit max* masing-masing 50% dari total pembebanan.



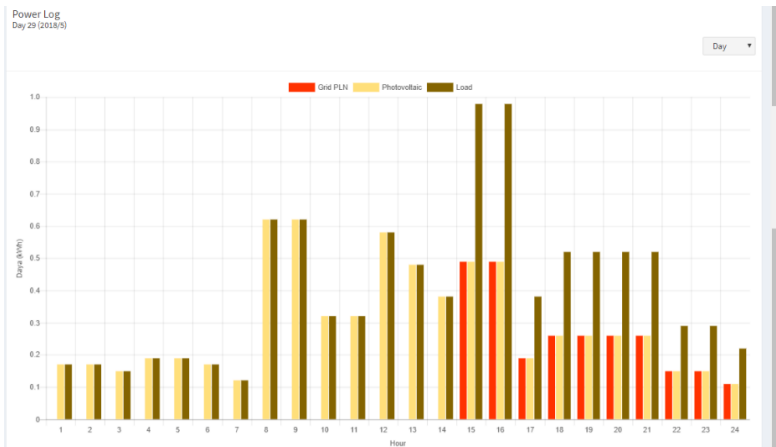
**Gambar 4.32 Kapasitas baterai**

Gambar 4.32 menginformasikan kapasitas baterai selama 24 jam. Kapasitas baterai tertinggi adalah 95.5% ketika jam 1 dan terendah

49.9% ketika jam 24. Sedangkan gambar 4.30 adalah grafik perubahan harga selama 24 jam.



**Gambar 4.33 Perubahan harga**

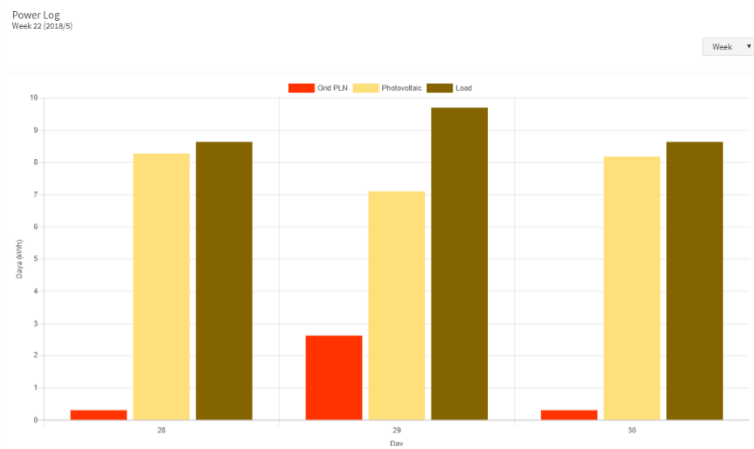


**Gambar 4.34 Tampilan *power log* pada eksperimen empat**

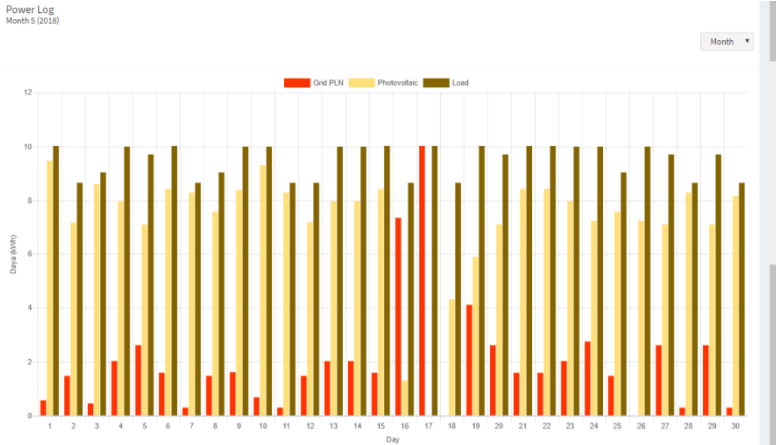


**Gambar 4.35** Maket perumahan dengan *Home Power Management System*

Gambar 4.35 adalah maket sistem yang terdiri dari miniatur perumahan dua lantai dengan dua belas peralatan listrik atau *smart appliances*, *charge controller*, *energy storages*, *inverter*, *main controller*, *grid*, *photovoltaic*, dan *human machine interface* dengan *mini pc raspberry phi model 3 B*.

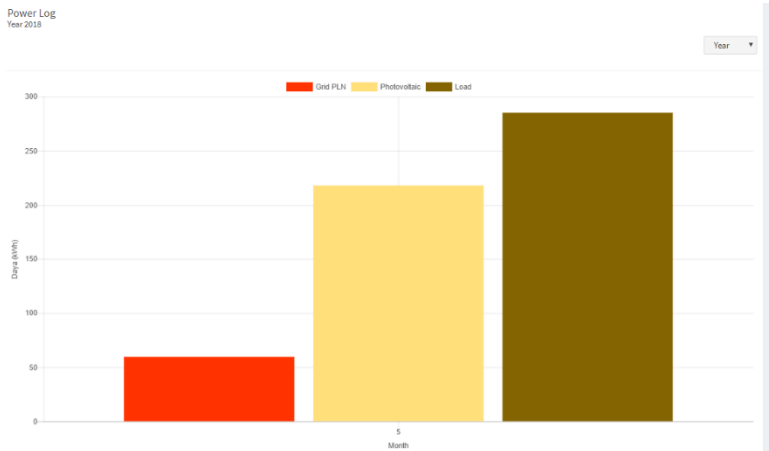


**Gambar 4.36** Tampilan *power log* mingguan



**Gambar 4.37 Tampilan *power log* bulanan**

Pada gambar 4.36 menginformasikan laporan total pembebanan *power resources* (*gird* dan *microgrid*) selama satu minggu, pada gambar 4.37 menginformasikan total pembebanan *power resources* (*gird* dan *microgrid*) selama satu tahun, dan pada gambar 4.38 menginformasikan total pembebanan *power resources* (*gird* dan *microgrid*) selama satu tahun.



**Gambar 4.38 Tampilan *power log* tahunan**

## 4.4 Analisa Ekonomi

**Tabel 4.37 Capital expenditure**

| No                | Item                      | Bill           | Qty | Cost            |
|-------------------|---------------------------|----------------|-----|-----------------|
| 1                 | VRLA Lumonius 200 Ah 12 V | Rp3,950,000.00 | 8   | Rp31,600,000.00 |
| 2                 | SUOER PSW 1000 W 12 V     | Rp1,260,000.00 | 1   | Rp1,260,000.00  |
| 3                 | CC BCR 30 A 48 v          | Rp2,100,000.00 | 1   | Rp2,100,000.00  |
| 4                 | Solar Sel 200 Wp          | Rp2,000,000.00 | 8   | Rp16,000,000.00 |
| 5                 | Particle Photon           | Rp350,000.00   | 2   | Rp700,000.00    |
| 6                 | Relay                     | Rp20,000.00    | 14  | Rp280,000.00    |
| 7                 | Sensor Arus               | Rp125,000.00   | 3   | Rp375,000.00    |
| 8                 | Sensor Tegangan           | Rp130,000.00   | 3   | Rp390,000.00    |
| <b>Total Cost</b> |                           |                |     | Rp52,705,000.00 |

Tabel 4.37 adalah investasi yang digunakan, dengan asumsi lifetime sistem adalah 20 tahun, didapatkan analisa ekonomi seperti pada tabel 4.38

**Tabel 4.38 Analisa ekonomi**

|                         |                  |
|-------------------------|------------------|
|                         |                  |
| <b>Tanpa HPMS</b>       | Rp 482,389.95    |
| <b>PV Cost</b>          | Rp 227,462.87    |
| <b>Grid Cost</b>        | Rp 102,937.23    |
| <b>Total Investment</b> | Rp 52,705,000.00 |
| <b>BEP</b>              | 11.57 tahun      |
| <b>Investment/Bulan</b> | Rp 219,604.17    |
| <b>Penghematan</b>      | 33%              |



## BAB 5

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari simulasi dan analisis pada tugas akhir ini, diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. *Mixed Integer Linear Programming* dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan pada *Home Power Management System (HPMS)*
2. Hasil simulasi dari empat skenario harga dan tiga kondisi kapasitas batrai menunjukkan bahwa ketika harga sama biaya paling optimal adalah ketika beban disumpai 40% dengan *photovoltaic system* yang *dilengkapi dengan energy storage* ketika baterai diantara 20-50%. Disumpai 100% oleh *photovoltaic system* yang *dilengkapi dengan energy storage* ketika kapasitas baterai diatas 50%, dan disumpai 100% oleh *grid* ketika kapasitas baterai dibawah 20%.
3. Tiga skenario lain menunjukkan bahwa harga paling optimal ketika kondisi baterai dibawah 20% disuplai oleh 100% *grid*. Ketika kondisi baterai 20%-50% beban disumpai 50% *PV* 50% *grid*, dan ketika kondisi diatas 50% disuplai 100% oleh *photovoltaic system* yang *dilengkapi dengan energy storage*.
4. HPMS pada tugas akhir ini dapat menghemay biaya hingga 30%-70%.

#### 5.2 Saran

Berikut saran yang diberikan untuk perbaikan dan pengembangan topik pada tugas akhir ini :

- Menambahkan pertimbangan teknis lain selain tegangan dan rugi-rugi peralatan.
- Menambahkan fitur untuk *transfer excess power* ke jaringan.
- Optimalisasi penjadwalan peralatan sesuai dengan kondisi lingkungan.

*[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]*

# LAMPIRAN

## 1. Data Dummies Bulan Mei

| Jam         | Baterai |       | Beban | Grid |       | Inverter |       | Cost |      |
|-------------|---------|-------|-------|------|-------|----------|-------|------|------|
|             | V       | %     | PL    | V    | I (A) | V        | I (A) | Grid | PV   |
| 01 Mei 2018 |         |       |       |      |       |          |       |      |      |
| 1           | 12.69   | 99.31 | 192   | 220  | 0     | 220      | 0.873 | 1451 | 1451 |
| 2           | 12.67   | 98.62 | 192   | 220  | 0     | 220      | 0.873 | 1458 | 1458 |
| 3           | 12.66   | 97.93 | 192   | 220  | 0     | 220      | 0.873 | 1452 | 1452 |
| 4           | 12.64   | 97.24 | 192   | 220  | 0     | 220      | 0.873 | 1451 | 1451 |
| 5           | 12.63   | 96.56 | 192   | 220  | 0     | 220      | 0.873 | 1456 | 1456 |
| 6           | 12.57   | 93.64 | 820   | 220  | 0     | 220      | 3.727 | 1471 | 1471 |
| 7           | 12.51   | 90.32 | 945   | 220  | 0     | 220      | 4.295 | 1601 | 1601 |
| 8           | 12.48   | 87.28 | 345   | 220  | 0     | 220      | 1.568 | 1614 | 1614 |
| 9           | 12.45   | 82.77 | 520   | 220  | 0     | 220      | 2.364 | 1664 | 1664 |
| 10          | 12.41   | 78.27 | 520   | 220  | 0     | 220      | 2.364 | 1649 | 1649 |
| 11          | 12.40   | 70.33 | 220   | 220  | 0     | 220      | 1.000 | 1595 | 1595 |
| 12          | 12.36   | 70.17 | 480   | 220  | 0     | 220      | 2.182 | 1568 | 1568 |
| 13          | 12.33   | 70.01 | 480   | 220  | 0     | 220      | 2.182 | 1521 | 1521 |
| 14          | 12.30   | 68.56 | 380   | 220  | 0     | 220      | 1.727 | 1476 | 1476 |
| 15          | 12.28   | 66.42 | 380   | 220  | 0     | 220      | 1.727 | 1455 | 1455 |
| 16          | 12.25   | 64.29 | 380   | 220  | 0     | 220      | 1.727 | 1544 | 1544 |
| 17          | 12.23   | 62.17 | 380   | 220  | 0     | 220      | 1.727 | 1605 | 1605 |
| 18          | 12.18   | 58.27 | 777   | 220  | 0     | 220      | 3.532 | 1865 | 1865 |
| 19          | 12.14   | 55.83 | 517   | 220  | 0     | 220      | 2.350 | 1770 | 1770 |
| 20          | 12.11   | 53.40 | 517   | 220  | 0     | 220      | 2.350 | 1720 | 1720 |
| 21          | 12.09   | 51.95 | 517   | 220  | 0     | 220      | 2.350 | 1649 | 1649 |
| 22          | 12.08   | 51.00 | 292   | 220  | 0     | 220      | 1.327 | 1662 | 1662 |
| 23          | 12.06   | 50.29 | 292   | 220  | 0     | 220      | 1.327 | 1575 | 1575 |
| 24          | 12.05   | 49.58 | 292   | 220  | 0.531 | 220      | 0.796 | 1615 | 1615 |
| 02 Mei 2018 |         |       |       |      |       |          |       |      |      |
| 1           | 12.47   | 88.51 | 192   | 220  | 0.00  | 220      | 0.87  | 1814 | 1451 |
| 2           | 12.46   | 87.83 | 192   | 220  | 0.00  | 220      | 0.87  | 1823 | 1458 |
| 3           | 12.44   | 87.15 | 192   | 220  | 0.00  | 220      | 0.87  | 1815 | 1452 |
| 4           | 12.43   | 86.48 | 192   | 220  | 0.00  | 220      | 0.87  | 1814 | 1451 |
| 5           | 12.42   | 79.00 | 192   | 220  | 0.00  | 220      | 0.87  | 1820 | 1456 |
| 6           | 12.36   | 71.84 | 820   | 220  | 0.00  | 220      | 3.73  | 1838 | 1471 |
| 7           | 12.30   | 68.43 | 820   | 220  | 0.00  | 220      | 3.73  | 2002 | 1601 |
| 8           | 12.29   | 67.17 | 220   | 220  | 0.00  | 220      | 1.00  | 2018 | 1614 |
| 9           | 12.27   | 65.91 | 220   | 220  | 0.00  | 220      | 1.00  | 2080 | 1664 |
| 10          | 12.26   | 64.65 | 220   | 220  | 0.00  | 220      | 1.00  | 2061 | 1649 |
| 11          | 12.24   | 63.40 | 220   | 220  | 0.00  | 220      | 1.00  | 1993 | 1595 |
| 12          | 12.23   | 62.15 | 220   | 220  | 0.00  | 220      | 1.00  | 1959 | 1568 |
| 13          | 12.19   | 59.63 | 480   | 220  | 0.00  | 220      | 2.18  | 1902 | 1521 |
| 14          | 12.17   | 57.79 | 380   | 220  | 0.00  | 220      | 1.73  | 1845 | 1476 |

|             |       |       |      |     |      |     |      |      |      |
|-------------|-------|-------|------|-----|------|-----|------|------|------|
| 15          | 12.14 | 55.97 | 380  | 220 | 0.00 | 220 | 1.73 | 1819 | 1455 |
| 16          | 12.12 | 54.15 | 380  | 220 | 0.00 | 220 | 1.73 | 1930 | 1544 |
| 17          | 12.09 | 52.34 | 380  | 220 | 0.00 | 220 | 1.73 | 2007 | 1605 |
| 18          | 12.07 | 51.11 | 517  | 220 | 0.00 | 220 | 2.35 | 2331 | 1865 |
| 19          | 12.06 | 49.89 | 517  | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 2212 | 1770 |
| 20          | 12.04 | 48.67 | 517  | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 2149 | 1720 |
| 21          | 12.02 | 47.45 | 517  | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 2061 | 1649 |
| 22          | 12.01 | 46.77 | 292  | 220 | 0.66 | 220 | 0.66 | 2078 | 1662 |
| 23          | 12.00 | 46.08 | 292  | 220 | 0.66 | 220 | 0.66 | 1968 | 1575 |
| 24          | 11.99 | 45.40 | 292  | 220 | 0.66 | 220 | 0.66 | 2019 | 1615 |
| 03 Mei 2018 |       |       |      |     |      |     |      |      |      |
| 1           | 12.61 | 95.70 | 154  | 220 | 0    | 220 | 0.70 | 1814 | 1451 |
| 2           | 12.60 | 95.15 | 154  | 220 | 0    | 220 | 0.70 | 1823 | 1458 |
| 3           | 12.59 | 94.60 | 154  | 220 | 0    | 220 | 0.70 | 1815 | 1452 |
| 4           | 12.58 | 94.01 | 164  | 220 | 0    | 220 | 0.75 | 1814 | 1451 |
| 5           | 12.57 | 93.43 | 164  | 220 | 0    | 220 | 0.75 | 1820 | 1456 |
| 6           | 12.52 | 90.84 | 730  | 220 | 0    | 220 | 3.32 | 1838 | 1471 |
| 7           | 12.47 | 85.29 | 720  | 220 | 0    | 220 | 3.27 | 2002 | 1601 |
| 8           | 12.44 | 81.63 | 420  | 220 | 0    | 220 | 1.91 | 2018 | 1614 |
| 9           | 12.42 | 79.72 | 220  | 220 | 0    | 220 | 1.00 | 2080 | 1664 |
| 10          | 12.40 | 70.35 | 320  | 220 | 0    | 220 | 1.45 | 2061 | 1649 |
| 11          | 12.38 | 70.24 | 320  | 220 | 0    | 220 | 1.45 | 1993 | 1595 |
| 12          | 12.34 | 70.05 | 580  | 220 | 0    | 220 | 2.64 | 1959 | 1568 |
| 13          | 12.30 | 68.66 | 480  | 220 | 0    | 220 | 2.18 | 1902 | 1521 |
| 14          | 12.28 | 66.51 | 380  | 220 | 0    | 220 | 1.73 | 1845 | 1476 |
| 15          | 12.25 | 64.36 | 380  | 220 | 0    | 220 | 1.73 | 1819 | 1455 |
| 16          | 12.23 | 62.23 | 380  | 220 | 0    | 220 | 1.73 | 1930 | 1544 |
| 17          | 12.20 | 60.20 | 380  | 220 | 0    | 220 | 1.73 | 2007 | 1605 |
| 18          | 12.17 | 57.73 | 517  | 220 | 0    | 220 | 2.35 | 2331 | 1865 |
| 19          | 12.13 | 55.27 | 517  | 220 | 0    | 220 | 2.35 | 2212 | 1770 |
| 20          | 12.10 | 52.83 | 517  | 220 | 0    | 220 | 2.35 | 2149 | 1720 |
| 21          | 12.07 | 50.41 | 517  | 220 | 0    | 220 | 2.35 | 2061 | 1649 |
| 22          | 12.06 | 49.77 | 292  | 220 | 0.66 | 220 | 0.66 | 2078 | 1662 |
| 23          | 12.05 | 49.17 | 292  | 220 | 0.66 | 220 | 0.66 | 1968 | 1575 |
| 24          | 12.04 | 48.58 | 292  | 220 | 0.66 | 220 | 0.66 | 2019 | 1615 |
| 04 Mei 2018 |       |       |      |     |      |     |      |      |      |
| 1           | 12.46 | 88.16 | 168  | 220 | 0    | 220 | 0.76 | 1088 | 1451 |
| 2           | 12.45 | 87.56 | 168  | 220 | 0    | 220 | 0.76 | 1094 | 1458 |
| 3           | 12.44 | 87.02 | 154  | 220 | 0    | 220 | 0.70 | 1089 | 1452 |
| 4           | 12.43 | 86.34 | 192  | 220 | 0    | 220 | 0.87 | 1089 | 1451 |
| 5           | 12.41 | 78.67 | 192  | 220 | 0    | 220 | 0.87 | 1092 | 1456 |
| 6           | 12.40 | 77.16 | 172  | 220 | 0    | 220 | 0.78 | 1103 | 1471 |
| 7           | 12.35 | 70.88 | 720  | 220 | 0    | 220 | 3.27 | 1201 | 1601 |
| 8           | 12.26 | 64.79 | 1345 | 220 | 0    | 220 | 6.11 | 1211 | 1614 |
| 9           | 12.21 | 60.55 | 745  | 220 | 0    | 220 | 3.39 | 1248 | 1664 |
| 10          | 12.19 | 59.04 | 320  | 220 | 0    | 220 | 1.45 | 1237 | 1649 |

|             |       |       |     |     |      |     |      |      |      |
|-------------|-------|-------|-----|-----|------|-----|------|------|------|
| 11          | 12.16 | 57.49 | 320 | 220 | 0    | 220 | 1.45 | 1196 | 1595 |
| 12          | 12.13 | 54.71 | 580 | 220 | 0    | 220 | 2.64 | 1176 | 1568 |
| 13          | 12.09 | 52.42 | 480 | 220 | 0    | 220 | 2.18 | 1141 | 1521 |
| 14          | 12.07 | 50.62 | 380 | 220 | 0    | 220 | 1.73 | 1107 | 1476 |
| 15          | 12.06 | 49.76 | 380 | 220 | 0.86 | 220 | 0.86 | 1091 | 1455 |
| 16          | 12.04 | 48.98 | 380 | 220 | 0.86 | 220 | 0.86 | 1158 | 1544 |
| 17          | 12.03 | 48.19 | 380 | 220 | 0.86 | 220 | 0.86 | 1204 | 1605 |
| 18          | 12.01 | 47.13 | 517 | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 1399 | 1865 |
| 19          | 12.00 | 46.07 | 517 | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 1327 | 1770 |
| 20          | 11.98 | 45.37 | 517 | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 1290 | 1720 |
| 21          | 11.96 | 44.24 | 517 | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 1237 | 1649 |
| 22          | 11.95 | 43.61 | 292 | 220 | 0.66 | 220 | 0.66 | 1247 | 1662 |
| 23          | 11.94 | 42.97 | 292 | 220 | 0.66 | 220 | 0.66 | 1181 | 1575 |
| 24          | 11.93 | 42.40 | 264 | 220 | 0.60 | 220 | 0.60 | 1212 | 1615 |
| 05 Mei 2018 |       |       |     |     |      |     |      |      |      |
| 1           | 12.36 | 70.17 | 168 | 220 | 0    | 220 | 0.76 | 1517 | 1042 |
| 2           | 12.35 | 70.11 | 168 | 220 | 0    | 220 | 0.76 | 1484 | 1042 |
| 3           | 12.34 | 70.06 | 154 | 220 | 0    | 220 | 0.70 | 1475 | 1042 |
| 4           | 12.33 | 70.00 | 192 | 220 | 0    | 220 | 0.87 | 1467 | 1042 |
| 5           | 12.31 | 69.31 | 192 | 220 | 0    | 220 | 0.87 | 1536 | 1042 |
| 6           | 12.30 | 68.31 | 172 | 220 | 0    | 220 | 0.78 | 1547 | 1042 |
| 7           | 12.29 | 67.62 | 120 | 220 | 0    | 220 | 0.55 | 1503 | 1042 |
| 8           | 12.25 | 64.05 | 620 | 220 | 0    | 220 | 2.82 | 1629 | 1042 |
| 9           | 12.21 | 60.50 | 620 | 220 | 0    | 220 | 2.82 | 1732 | 1042 |
| 10          | 12.19 | 58.98 | 320 | 220 | 0    | 220 | 1.45 | 1764 | 1042 |
| 11          | 12.16 | 57.42 | 320 | 220 | 0    | 220 | 1.45 | 1794 | 1042 |
| 12          | 12.12 | 54.62 | 580 | 220 | 0    | 220 | 2.64 | 1702 | 1042 |
| 13          | 12.09 | 52.31 | 480 | 220 | 0    | 220 | 2.18 | 1738 | 1042 |
| 14          | 12.07 | 50.49 | 380 | 220 | 0    | 220 | 1.73 | 1782 | 1042 |
| 15          | 12.03 | 48.40 | 980 | 220 | 2.23 | 220 | 2.23 | 1768 | 1042 |
| 16          | 12.00 | 46.36 | 980 | 220 | 2.23 | 220 | 2.23 | 1753 | 1042 |
| 17          | 11.99 | 45.58 | 380 | 220 | 0.86 | 220 | 0.86 | 1767 | 1042 |
| 18          | 11.97 | 44.84 | 517 | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 1919 | 1042 |
| 19          | 11.95 | 43.70 | 517 | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 1906 | 1042 |
| 20          | 11.94 | 42.57 | 517 | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 1808 | 1042 |
| 21          | 11.92 | 41.45 | 517 | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 1739 | 1042 |
| 22          | 11.91 | 40.81 | 292 | 220 | 0.66 | 220 | 0.66 | 1629 | 1042 |
| 23          | 11.90 | 38.85 | 292 | 220 | 0.66 | 220 | 0.66 | 1579 | 1042 |
| 24          | 11.89 | 38.43 | 220 | 220 | 0.5  | 220 | 0.50 | 1456 | 1042 |
| 06 Mei 2018 |       |       |     |     |      |     |      |      |      |
| 1           | 12.49 | 87.64 | 192 | 220 | 0    | 220 | 0.87 | 1451 | 1451 |
| 2           | 12.47 | 85.94 | 192 | 220 | 0    | 220 | 0.87 | 1458 | 1458 |
| 3           | 12.46 | 84.25 | 192 | 220 | 0    | 220 | 0.87 | 1452 | 1452 |
| 4           | 12.44 | 82.56 | 192 | 220 | 0    | 220 | 0.87 | 1451 | 1451 |
| 5           | 12.43 | 80.87 | 192 | 220 | 0    | 220 | 0.87 | 1456 | 1456 |
| 6           | 12.37 | 70.22 | 820 | 220 | 0    | 220 | 3.73 | 1471 | 1471 |

|             |       |       |     |     |      |     |      |      |      |
|-------------|-------|-------|-----|-----|------|-----|------|------|------|
| 7           | 12.31 | 69.91 | 945 | 220 | 0    | 220 | 4.30 | 1601 | 1601 |
| 8           | 12.28 | 66.96 | 345 | 220 | 0    | 220 | 1.57 | 1614 | 1614 |
| 9           | 12.25 | 64.00 | 520 | 220 | 0    | 220 | 2.36 | 1664 | 1664 |
| 10          | 12.21 | 61.05 | 520 | 220 | 0    | 220 | 2.36 | 1649 | 1649 |
| 11          | 12.20 | 59.81 | 220 | 220 | 0    | 220 | 1.00 | 1595 | 1595 |
| 12          | 12.17 | 57.11 | 480 | 220 | 0    | 220 | 2.18 | 1568 | 1568 |
| 13          | 12.13 | 54.43 | 480 | 220 | 0    | 220 | 2.18 | 1521 | 1521 |
| 14          | 12.11 | 52.31 | 380 | 220 | 0    | 220 | 1.73 | 1476 | 1476 |
| 15          | 12.08 | 50.21 | 380 | 220 | 0    | 220 | 1.73 | 1455 | 1455 |
| 16          | 12.07 | 48.95 | 380 | 220 | 0.69 | 220 | 1.04 | 1544 | 1544 |
| 17          | 12.05 | 47.69 | 380 | 220 | 0.69 | 220 | 1.04 | 1605 | 1605 |
| 18          | 12.02 | 45.13 | 777 | 220 | 1.41 | 220 | 2.12 | 1865 | 1865 |
| 19          | 12.00 | 43.44 | 517 | 220 | 0.94 | 220 | 1.41 | 1770 | 1770 |
| 20          | 11.98 | 41.75 | 517 | 220 | 0.94 | 220 | 1.41 | 1720 | 1720 |
| 21          | 11.96 | 40.06 | 517 | 220 | 0.94 | 220 | 1.41 | 1649 | 1649 |
| 22          | 11.95 | 39.12 | 292 | 220 | 0.53 | 220 | 0.80 | 1662 | 1662 |
| 23          | 11.94 | 38.17 | 292 | 220 | 0.53 | 220 | 0.80 | 1575 | 1575 |
| 24          | 11.93 | 37.22 | 292 | 220 | 0.53 | 220 | 0.80 | 1615 | 1615 |
| 07 Mei 2018 |       |       |     |     |      |     |      |      |      |
| 1           | 12.61 | 95.56 | 192 | 220 | 0    | 220 | 0.87 | 1517 | 1042 |
| 2           | 12.60 | 94.88 | 192 | 220 | 0    | 220 | 0.87 | 1484 | 1042 |
| 3           | 12.58 | 94.19 | 192 | 220 | 0    | 220 | 0.87 | 1475 | 1042 |
| 4           | 12.57 | 93.51 | 192 | 220 | 0    | 220 | 0.87 | 1467 | 1042 |
| 5           | 12.56 | 92.83 | 192 | 220 | 0    | 220 | 0.87 | 1536 | 1042 |
| 6           | 12.50 | 89.32 | 820 | 220 | 0    | 220 | 3.73 | 1547 | 1042 |
| 7           | 12.44 | 82.15 | 820 | 220 | 0    | 220 | 3.73 | 1503 | 1042 |
| 8           | 12.43 | 80.24 | 220 | 220 | 0    | 220 | 1.00 | 1629 | 1042 |
| 9           | 12.41 | 70.40 | 220 | 220 | 0    | 220 | 1.00 | 1732 | 1042 |
| 10          | 12.40 | 70.33 | 220 | 220 | 0    | 220 | 1.00 | 1764 | 1042 |
| 11          | 12.38 | 70.25 | 220 | 220 | 0    | 220 | 1.00 | 1794 | 1042 |
| 12          | 12.37 | 70.18 | 220 | 220 | 0    | 220 | 1.00 | 1702 | 1042 |
| 13          | 12.33 | 70.03 | 480 | 220 | 0    | 220 | 2.18 | 1738 | 1042 |
| 14          | 12.31 | 68.77 | 380 | 220 | 0    | 220 | 1.73 | 1782 | 1042 |
| 15          | 12.28 | 66.62 | 380 | 220 | 0    | 220 | 1.73 | 1768 | 1042 |
| 16          | 12.25 | 64.47 | 380 | 220 | 0    | 220 | 1.73 | 1753 | 1042 |
| 17          | 12.23 | 62.34 | 380 | 220 | 0    | 220 | 1.73 | 1767 | 1042 |
| 18          | 12.19 | 59.64 | 517 | 220 | 0    | 220 | 2.35 | 1919 | 1042 |
| 19          | 12.16 | 57.17 | 517 | 220 | 0    | 220 | 2.35 | 1906 | 1042 |
| 20          | 12.13 | 54.72 | 517 | 220 | 0    | 220 | 2.35 | 1808 | 1042 |
| 21          | 12.09 | 52.28 | 517 | 220 | 0    | 220 | 2.35 | 1739 | 1042 |
| 22          | 12.07 | 50.91 | 292 | 220 | 0    | 220 | 1.33 | 1629 | 1042 |
| 23          | 12.06 | 50.40 | 292 | 220 | 0    | 220 | 1.33 | 1579 | 1042 |
| 24          | 12.06 | 49.91 | 292 | 220 | 0.66 | 220 | 0.66 | 1456 | 1042 |
| 08 Mei 2018 |       |       |     |     |      |     |      |      |      |
| 1           | 12.5  | 88.0  | 154 | 220 | 0.00 | 220 | 0.70 | 1517 | 1042 |
| 2           | 12.5  | 86.6  | 154 | 220 | 0.00 | 220 | 0.70 | 1484 | 1042 |

|             |       |       |      |     |      |     |      |      |      |
|-------------|-------|-------|------|-----|------|-----|------|------|------|
| 3           | 12.5  | 85.3  | 154  | 220 | 0.00 | 220 | 0.70 | 1475 | 1042 |
| 4           | 12.5  | 83.8  | 164  | 220 | 0.00 | 220 | 0.75 | 1467 | 1042 |
| 5           | 12.4  | 82.4  | 164  | 220 | 0.00 | 220 | 0.75 | 1536 | 1042 |
| 6           | 12.4  | 70.3  | 730  | 220 | 0.00 | 220 | 3.32 | 1547 | 1042 |
| 7           | 12.3  | 70.1  | 720  | 220 | 0.00 | 220 | 3.27 | 1503 | 1042 |
| 8           | 12.3  | 69.3  | 420  | 220 | 0.00 | 220 | 1.91 | 1629 | 1042 |
| 9           | 12.3  | 68.1  | 220  | 220 | 0.00 | 220 | 1.00 | 1732 | 1042 |
| 10          | 12.3  | 66.2  | 320  | 220 | 0.00 | 220 | 1.45 | 1764 | 1042 |
| 11          | 12.3  | 64.4  | 320  | 220 | 0.00 | 220 | 1.45 | 1794 | 1042 |
| 12          | 12.2  | 61.1  | 580  | 220 | 0.00 | 220 | 2.64 | 1702 | 1042 |
| 13          | 12.2  | 58.7  | 480  | 220 | 0.00 | 220 | 2.18 | 1738 | 1042 |
| 14          | 12.2  | 56.9  | 380  | 220 | 0.00 | 220 | 1.73 | 1782 | 1042 |
| 15          | 12.1  | 55.1  | 380  | 220 | 0.00 | 220 | 1.73 | 1768 | 1042 |
| 16          | 12.1  | 53.3  | 380  | 220 | 0.00 | 220 | 1.73 | 1753 | 1042 |
| 17          | 12.1  | 51.5  | 380  | 220 | 0.00 | 220 | 1.73 | 1767 | 1042 |
| 18          | 12.1  | 50.2  | 517  | 220 | 0.00 | 220 | 2.35 | 1919 | 1042 |
| 19          | 12.0  | 49.2  | 517  | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 1906 | 1042 |
| 20          | 12.0  | 48.1  | 517  | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 1808 | 1042 |
| 21          | 12.0  | 47.0  | 517  | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 1739 | 1042 |
| 22          | 12.0  | 46.4  | 292  | 220 | 0.66 | 220 | 0.66 | 1629 | 1042 |
| 23          | 12.0  | 45.8  | 292  | 220 | 0.66 | 220 | 0.66 | 1579 | 1042 |
| 24          | 12.0  | 45.3  | 292  | 220 | 0.66 | 220 | 0.66 | 1456 | 1042 |
| 09 Mei 2018 |       |       |      |     |      |     |      |      |      |
| 1           | 12.46 | 88.16 | 168  | 220 | 0.00 | 220 | 0.76 | 1451 | 1451 |
| 2           | 12.45 | 87.56 | 168  | 220 | 0.00 | 220 | 0.76 | 1458 | 1458 |
| 3           | 12.44 | 87.02 | 154  | 220 | 0.00 | 220 | 0.70 | 1452 | 1452 |
| 4           | 12.43 | 86.34 | 192  | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1451 | 1451 |
| 5           | 12.41 | 78.67 | 192  | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1456 | 1456 |
| 6           | 12.40 | 77.16 | 172  | 220 | 0.00 | 220 | 0.78 | 1471 | 1471 |
| 7           | 12.35 | 70.88 | 720  | 220 | 0.00 | 220 | 3.27 | 1601 | 1601 |
| 8           | 12.26 | 64.79 | 1345 | 220 | 0.00 | 220 | 6.11 | 1614 | 1614 |
| 9           | 12.21 | 60.55 | 745  | 220 | 0.00 | 220 | 3.39 | 1664 | 1664 |
| 10          | 12.19 | 59.04 | 320  | 220 | 0.00 | 220 | 1.45 | 1649 | 1649 |
| 11          | 12.16 | 57.49 | 320  | 220 | 0.00 | 220 | 1.45 | 1595 | 1595 |
| 12          | 12.13 | 54.71 | 580  | 220 | 0.00 | 220 | 2.64 | 1568 | 1568 |
| 13          | 12.09 | 52.42 | 480  | 220 | 0.00 | 220 | 2.18 | 1521 | 1521 |
| 14          | 12.07 | 50.62 | 380  | 220 | 0.00 | 220 | 1.73 | 1476 | 1476 |
| 15          | 12.05 | 49.60 | 380  | 220 | 0.69 | 220 | 1.04 | 1455 | 1455 |
| 16          | 12.04 | 48.66 | 380  | 220 | 0.69 | 220 | 1.04 | 1544 | 1544 |
| 17          | 12.02 | 47.72 | 380  | 220 | 0.69 | 220 | 1.04 | 1605 | 1605 |
| 18          | 12.00 | 46.45 | 517  | 220 | 0.94 | 220 | 1.41 | 1865 | 1865 |
| 19          | 11.98 | 45.18 | 517  | 220 | 0.94 | 220 | 1.41 | 1770 | 1770 |
| 20          | 11.96 | 44.19 | 517  | 220 | 0.94 | 220 | 1.41 | 1720 | 1720 |
| 21          | 11.94 | 42.85 | 517  | 220 | 0.94 | 220 | 1.41 | 1649 | 1649 |
| 22          | 11.93 | 42.09 | 292  | 220 | 0.53 | 220 | 0.80 | 1662 | 1662 |
| 23          | 11.92 | 41.33 | 292  | 220 | 0.53 | 220 | 0.80 | 1575 | 1575 |

|             |       |       |      |     |      |     |      |      |      |
|-------------|-------|-------|------|-----|------|-----|------|------|------|
| 24          | 11.91 | 40.65 | 264  | 220 | 0.48 | 220 | 0.72 | 1615 | 1615 |
| 10 Mei 2018 |       |       |      |     |      |     |      |      |      |
| 1           | 12.64 | 96.96 | 168  | 220 | 0.00 | 220 | 0.76 | 1517 | 1042 |
| 2           | 12.63 | 96.36 | 168  | 220 | 0.00 | 220 | 0.76 | 1484 | 1042 |
| 3           | 12.62 | 95.81 | 154  | 220 | 0.00 | 220 | 0.70 | 1475 | 1042 |
| 4           | 12.60 | 95.12 | 192  | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1467 | 1042 |
| 5           | 12.59 | 94.44 | 192  | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1536 | 1042 |
| 6           | 12.58 | 93.83 | 172  | 220 | 0.00 | 220 | 0.78 | 1547 | 1042 |
| 7           | 12.53 | 91.28 | 720  | 220 | 0.00 | 220 | 3.27 | 1503 | 1042 |
| 8           | 12.43 | 80.94 | 1345 | 220 | 0.00 | 220 | 6.11 | 1629 | 1042 |
| 9           | 12.38 | 70.25 | 745  | 220 | 0.00 | 220 | 3.39 | 1732 | 1042 |
| 10          | 12.36 | 70.15 | 320  | 220 | 0.00 | 220 | 1.45 | 1764 | 1042 |
| 11          | 12.34 | 70.04 | 320  | 220 | 0.00 | 220 | 1.45 | 1794 | 1042 |
| 12          | 12.30 | 67.98 | 580  | 220 | 0.00 | 220 | 2.64 | 1702 | 1042 |
| 13          | 12.26 | 65.27 | 480  | 220 | 0.00 | 220 | 2.18 | 1738 | 1042 |
| 14          | 12.24 | 63.13 | 380  | 220 | 0.00 | 220 | 1.73 | 1782 | 1042 |
| 15          | 12.21 | 61.01 | 380  | 220 | 0.00 | 220 | 1.73 | 1768 | 1042 |
| 16          | 12.19 | 59.16 | 380  | 220 | 0.00 | 220 | 1.73 | 1753 | 1042 |
| 17          | 12.16 | 57.35 | 380  | 220 | 0.00 | 220 | 1.73 | 1767 | 1042 |
| 18          | 12.13 | 54.90 | 517  | 220 | 0.00 | 220 | 2.35 | 1919 | 1042 |
| 19          | 12.09 | 52.47 | 517  | 220 | 0.00 | 220 | 2.35 | 1906 | 1042 |
| 20          | 12.06 | 50.05 | 517  | 220 | 0.00 | 220 | 2.35 | 1808 | 1042 |
| 21          | 12.04 | 49.00 | 517  | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 1739 | 1042 |
| 22          | 12.03 | 48.41 | 292  | 220 | 0.66 | 220 | 0.66 | 1629 | 1042 |
| 23          | 12.02 | 47.82 | 292  | 220 | 0.66 | 220 | 0.66 | 1579 | 1042 |
| 24          | 12.02 | 47.28 | 264  | 220 | 0.60 | 220 | 0.60 | 1456 | 1042 |
| 11 Mei 2018 |       |       |      |     |      |     |      |      |      |
| 1           | 12.61 | 95.56 | 192  | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1814 | 1451 |
| 2           | 12.60 | 94.88 | 192  | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1823 | 1458 |
| 3           | 12.58 | 94.19 | 192  | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1815 | 1452 |
| 4           | 12.57 | 93.51 | 192  | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1814 | 1451 |
| 5           | 12.56 | 92.83 | 192  | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1820 | 1456 |
| 6           | 12.50 | 89.32 | 820  | 220 | 0.00 | 220 | 3.73 | 1838 | 1471 |
| 7           | 12.44 | 82.15 | 820  | 220 | 0.00 | 220 | 3.73 | 2002 | 1601 |
| 8           | 12.43 | 80.24 | 220  | 220 | 0.00 | 220 | 1.00 | 2018 | 1614 |
| 9           | 12.41 | 70.40 | 220  | 220 | 0.00 | 220 | 1.00 | 2080 | 1664 |
| 10          | 12.40 | 70.33 | 220  | 220 | 0.00 | 220 | 1.00 | 2061 | 1649 |
| 11          | 12.38 | 70.25 | 220  | 220 | 0.00 | 220 | 1.00 | 1993 | 1595 |
| 12          | 12.37 | 70.18 | 220  | 220 | 0.00 | 220 | 1.00 | 1959 | 1568 |
| 13          | 12.33 | 70.03 | 480  | 220 | 0.00 | 220 | 2.18 | 1902 | 1521 |
| 14          | 12.31 | 68.77 | 380  | 220 | 0.00 | 220 | 1.73 | 1845 | 1476 |
| 15          | 12.28 | 66.62 | 380  | 220 | 0.00 | 220 | 1.73 | 1819 | 1455 |
| 16          | 12.25 | 64.47 | 380  | 220 | 0.00 | 220 | 1.73 | 1930 | 1544 |
| 17          | 12.23 | 62.34 | 380  | 220 | 0.00 | 220 | 1.73 | 2007 | 1605 |
| 18          | 12.19 | 59.64 | 517  | 220 | 0.00 | 220 | 2.35 | 2331 | 1865 |
| 19          | 12.16 | 57.17 | 517  | 220 | 0.00 | 220 | 2.35 | 2212 | 1770 |



|             |       |       |      |     |      |     |      |      |      |
|-------------|-------|-------|------|-----|------|-----|------|------|------|
| 20          | 12.13 | 54.72 | 517  | 220 | 0.00 | 220 | 2.35 | 2149 | 1720 |
| 21          | 12.09 | 52.28 | 517  | 220 | 0.00 | 220 | 2.35 | 2061 | 1649 |
| 22          | 12.07 | 50.91 | 292  | 220 | 0.00 | 220 | 1.33 | 2078 | 1662 |
| 23          | 12.06 | 50.40 | 292  | 220 | 0.00 | 220 | 1.33 | 1968 | 1575 |
| 24          | 12.06 | 49.91 | 292  | 220 | 0.66 | 220 | 0.66 | 2019 | 1615 |
| 12 Mei 2018 |       |       |      |     |      |     |      |      |      |
| 1           | 12.47 | 88.51 | 192  | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1088 | 1451 |
| 2           | 12.46 | 87.83 | 192  | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1094 | 1458 |
| 3           | 12.44 | 87.15 | 192  | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1089 | 1452 |
| 4           | 12.43 | 86.48 | 192  | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1089 | 1451 |
| 5           | 12.42 | 79.00 | 192  | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1092 | 1456 |
| 6           | 12.36 | 71.84 | 820  | 220 | 0.00 | 220 | 3.73 | 1103 | 1471 |
| 7           | 12.30 | 68.43 | 820  | 220 | 0.00 | 220 | 3.73 | 1201 | 1601 |
| 8           | 12.29 | 67.17 | 220  | 220 | 0.00 | 220 | 1.00 | 1211 | 1614 |
| 9           | 12.27 | 65.91 | 220  | 220 | 0.00 | 220 | 1.00 | 1248 | 1664 |
| 10          | 12.26 | 64.65 | 220  | 220 | 0.00 | 220 | 1.00 | 1237 | 1649 |
| 11          | 12.24 | 63.40 | 220  | 220 | 0.00 | 220 | 1.00 | 1196 | 1595 |
| 12          | 12.23 | 62.15 | 220  | 220 | 0.00 | 220 | 1.00 | 1176 | 1568 |
| 13          | 12.19 | 59.63 | 480  | 220 | 0.00 | 220 | 2.18 | 1141 | 1521 |
| 14          | 12.17 | 57.79 | 380  | 220 | 0.00 | 220 | 1.73 | 1107 | 1476 |
| 15          | 12.14 | 55.97 | 380  | 220 | 0.00 | 220 | 1.73 | 1091 | 1455 |
| 16          | 12.12 | 54.15 | 380  | 220 | 0.00 | 220 | 1.73 | 1158 | 1544 |
| 17          | 12.09 | 52.34 | 380  | 220 | 0.00 | 220 | 1.73 | 1204 | 1605 |
| 18          | 12.07 | 51.11 | 517  | 220 | 0.00 | 220 | 2.35 | 1399 | 1865 |
| 19          | 12.06 | 49.89 | 517  | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 1327 | 1770 |
| 20          | 12.04 | 48.67 | 517  | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 1290 | 1720 |
| 21          | 12.02 | 47.45 | 517  | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 1237 | 1649 |
| 22          | 12.01 | 46.77 | 292  | 220 | 0.66 | 220 | 0.66 | 1247 | 1662 |
| 23          | 12.00 | 46.08 | 292  | 220 | 0.66 | 220 | 0.66 | 1181 | 1575 |
| 24          | 11.99 | 45.40 | 292  | 220 | 0.66 | 220 | 0.66 | 1212 | 1615 |
| 13 Mei 2018 |       |       |      |     |      |     |      |      |      |
| 1           | 12.46 | 88.16 | 168  | 220 | 0.00 | 220 | 0.76 | 1814 | 1451 |
| 2           | 12.45 | 87.56 | 168  | 220 | 0.00 | 220 | 0.76 | 1823 | 1458 |
| 3           | 12.44 | 87.02 | 154  | 220 | 0.00 | 220 | 0.70 | 1815 | 1452 |
| 4           | 12.43 | 86.34 | 192  | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1814 | 1451 |
| 5           | 12.41 | 78.67 | 192  | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1820 | 1456 |
| 6           | 12.40 | 77.16 | 172  | 220 | 0.00 | 220 | 0.78 | 1838 | 1471 |
| 7           | 12.35 | 70.88 | 720  | 220 | 0.00 | 220 | 3.27 | 2002 | 1601 |
| 8           | 12.26 | 64.79 | 1345 | 220 | 0.00 | 220 | 6.11 | 2018 | 1614 |
| 9           | 12.21 | 60.55 | 745  | 220 | 0.00 | 220 | 3.39 | 2080 | 1664 |
| 10          | 12.19 | 59.04 | 320  | 220 | 0.00 | 220 | 1.45 | 2061 | 1649 |
| 11          | 12.16 | 57.49 | 320  | 220 | 0.00 | 220 | 1.45 | 1993 | 1595 |
| 12          | 12.13 | 54.71 | 580  | 220 | 0.00 | 220 | 2.64 | 1959 | 1568 |
| 13          | 12.09 | 52.42 | 480  | 220 | 0.00 | 220 | 2.18 | 1902 | 1521 |
| 14          | 12.07 | 50.62 | 380  | 220 | 0.00 | 220 | 1.73 | 1845 | 1476 |
| 15          | 12.06 | 49.76 | 380  | 220 | 0.86 | 220 | 0.86 | 1819 | 1455 |

|             |       |       |      |     |      |     |      |      |      |
|-------------|-------|-------|------|-----|------|-----|------|------|------|
| 16          | 12.04 | 48.98 | 380  | 220 | 0.86 | 220 | 0.86 | 1930 | 1544 |
| 17          | 12.03 | 48.19 | 380  | 220 | 0.86 | 220 | 0.86 | 2007 | 1605 |
| 18          | 12.01 | 47.13 | 517  | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 2331 | 1865 |
| 19          | 12.00 | 46.07 | 517  | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 2212 | 1770 |
| 20          | 11.98 | 45.37 | 517  | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 2149 | 1720 |
| 21          | 11.96 | 44.24 | 517  | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 2061 | 1649 |
| 22          | 11.95 | 43.61 | 292  | 220 | 0.66 | 220 | 0.66 | 2078 | 1662 |
| 23          | 11.94 | 42.97 | 292  | 220 | 0.66 | 220 | 0.66 | 1968 | 1575 |
| 24          | 11.93 | 42.40 | 264  | 220 | 0.60 | 220 | 0.60 | 2019 | 1615 |
| 14 Mei 2018 |       |       |      |     |      |     |      |      |      |
| 1           | 12.46 | 88.16 | 168  | 220 | 0.00 | 220 | 0.76 | 1517 | 1042 |
| 2           | 12.45 | 87.56 | 168  | 220 | 0.00 | 220 | 0.76 | 1484 | 1042 |
| 3           | 12.44 | 87.02 | 154  | 220 | 0.00 | 220 | 0.70 | 1475 | 1042 |
| 4           | 12.43 | 86.34 | 192  | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1467 | 1042 |
| 5           | 12.41 | 78.67 | 192  | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1536 | 1042 |
| 6           | 12.40 | 77.16 | 172  | 220 | 0.00 | 220 | 0.78 | 1547 | 1042 |
| 7           | 12.35 | 70.88 | 720  | 220 | 0.00 | 220 | 3.27 | 1503 | 1042 |
| 8           | 12.26 | 64.79 | 1345 | 220 | 0.00 | 220 | 6.11 | 1629 | 1042 |
| 9           | 12.21 | 60.55 | 745  | 220 | 0.00 | 220 | 3.39 | 1732 | 1042 |
| 10          | 12.19 | 59.04 | 320  | 220 | 0.00 | 220 | 1.45 | 1764 | 1042 |
| 11          | 12.16 | 57.49 | 320  | 220 | 0.00 | 220 | 1.45 | 1794 | 1042 |
| 12          | 12.13 | 54.71 | 580  | 220 | 0.00 | 220 | 2.64 | 1702 | 1042 |
| 13          | 12.09 | 52.42 | 480  | 220 | 0.00 | 220 | 2.18 | 1738 | 1042 |
| 14          | 12.07 | 50.62 | 380  | 220 | 0.00 | 220 | 1.73 | 1782 | 1042 |
| 15          | 12.06 | 49.76 | 380  | 220 | 0.86 | 220 | 0.86 | 1768 | 1042 |
| 16          | 12.04 | 48.98 | 380  | 220 | 0.86 | 220 | 0.86 | 1753 | 1042 |
| 17          | 12.03 | 48.19 | 380  | 220 | 0.86 | 220 | 0.86 | 1767 | 1042 |
| 18          | 12.01 | 47.13 | 517  | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 1919 | 1042 |
| 19          | 12.00 | 46.07 | 517  | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 1906 | 1042 |
| 20          | 11.98 | 45.37 | 517  | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 1808 | 1042 |
| 21          | 11.96 | 44.24 | 517  | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 1739 | 1042 |
| 22          | 11.95 | 43.61 | 292  | 220 | 0.66 | 220 | 0.66 | 1629 | 1042 |
| 23          | 11.94 | 42.97 | 292  | 220 | 0.66 | 220 | 0.66 | 1579 | 1042 |
| 24          | 11.93 | 42.40 | 264  | 220 | 0.60 | 220 | 0.60 | 1456 | 1042 |
| 15 Mei 2018 |       |       |      |     |      |     |      |      |      |
| 1           | 12.24 | 62.98 | 192  | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1814 | 1451 |
| 2           | 12.22 | 61.87 | 192  | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1823 | 1458 |
| 3           | 12.21 | 60.76 | 192  | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1815 | 1452 |
| 4           | 12.20 | 59.82 | 192  | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1814 | 1451 |
| 5           | 12.18 | 58.87 | 192  | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1820 | 1456 |
| 6           | 12.13 | 54.86 | 820  | 220 | 0.00 | 220 | 3.73 | 1838 | 1471 |
| 7           | 12.06 | 50.28 | 945  | 220 | 0.00 | 220 | 4.30 | 2002 | 1601 |
| 8           | 12.04 | 48.80 | 345  | 220 | 0.78 | 220 | 0.78 | 2018 | 1614 |
| 9           | 12.01 | 46.62 | 520  | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 2080 | 1664 |
| 10          | 11.97 | 44.45 | 520  | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 2061 | 1649 |
| 11          | 11.96 | 43.54 | 220  | 220 | 0.50 | 220 | 0.50 | 1993 | 1595 |

|             |       |       |     |     |      |     |      |      |      |
|-------------|-------|-------|-----|-----|------|-----|------|------|------|
| 12          | 11.92 | 41.56 | 480 | 220 | 1.09 | 220 | 1.09 | 1959 | 1568 |
| 13          | 11.89 | 39.58 | 480 | 220 | 1.09 | 220 | 1.09 | 1902 | 1521 |
| 14          | 11.87 | 37.92 | 380 | 220 | 0.86 | 220 | 0.86 | 1845 | 1476 |
| 15          | 11.84 | 36.27 | 380 | 220 | 0.86 | 220 | 0.86 | 1819 | 1455 |
| 16          | 11.83 | 35.28 | 380 | 220 | 0.86 | 220 | 0.86 | 1930 | 1544 |
| 17          | 11.81 | 34.29 | 380 | 220 | 0.86 | 220 | 0.86 | 2007 | 1605 |
| 18          | 11.78 | 32.29 | 777 | 220 | 1.77 | 220 | 1.77 | 2331 | 1865 |
| 19          | 11.76 | 30.96 | 517 | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 2212 | 1770 |
| 20          | 11.74 | 29.55 | 517 | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 2149 | 1720 |
| 21          | 11.72 | 28.38 | 517 | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 2061 | 1649 |
| 22          | 11.71 | 27.72 | 292 | 220 | 0.66 | 220 | 0.66 | 2078 | 1662 |
| 23          | 11.70 | 27.07 | 292 | 220 | 0.66 | 220 | 0.66 | 1968 | 1575 |
| 24          | 11.69 | 26.42 | 292 | 220 | 0.66 | 220 | 0.66 | 2019 | 1615 |
| 16 Mei 2018 |       |       |     |     |      |     |      |      |      |
| 1           | 11.69 | 26.62 | 192 | 220 | 0.44 | 220 | 0.44 | 1517 | 1042 |
| 2           | 11.69 | 26.24 | 192 | 220 | 0.44 | 220 | 0.44 | 1484 | 1042 |
| 3           | 11.68 | 25.87 | 192 | 220 | 0.44 | 220 | 0.44 | 1475 | 1042 |
| 4           | 11.67 | 25.50 | 192 | 220 | 0.44 | 220 | 0.44 | 1467 | 1042 |
| 5           | 11.67 | 25.12 | 192 | 220 | 0.44 | 220 | 0.44 | 1536 | 1042 |
| 6           | 11.64 | 23.53 | 820 | 220 | 1.86 | 220 | 1.86 | 1547 | 1042 |
| 7           | 11.61 | 21.29 | 820 | 220 | 1.86 | 220 | 1.86 | 1503 | 1042 |
| 8           | 11.61 | 18.16 | 220 | 220 | 1.00 | 220 | 0.00 | 1629 | 1042 |
| 9           | 11.61 | 18.16 | 220 | 220 | 1.00 | 220 | 0.00 | 1732 | 1042 |
| 10          | 11.61 | 18.16 | 220 | 220 | 1.00 | 220 | 0.00 | 1764 | 1042 |
| 11          | 11.61 | 18.16 | 220 | 220 | 1.00 | 220 | 0.00 | 1794 | 1042 |
| 12          | 11.61 | 18.16 | 220 | 220 | 1.00 | 220 | 0.00 | 1702 | 1042 |
| 13          | 11.61 | 18.16 | 480 | 220 | 2.18 | 220 | 0.00 | 1738 | 1042 |
| 14          | 11.61 | 18.16 | 380 | 220 | 1.73 | 220 | 0.00 | 1782 | 1042 |
| 15          | 11.61 | 18.16 | 380 | 220 | 1.73 | 220 | 0.00 | 1768 | 1042 |
| 16          | 11.61 | 18.16 | 380 | 220 | 1.73 | 220 | 0.00 | 1753 | 1042 |
| 17          | 11.61 | 18.16 | 380 | 220 | 1.73 | 220 | 0.00 | 1767 | 1042 |
| 18          | 11.61 | 18.16 | 517 | 220 | 2.35 | 220 | 0.00 | 1919 | 1042 |
| 19          | 11.61 | 18.16 | 517 | 220 | 2.35 | 220 | 0.00 | 1906 | 1042 |
| 20          | 11.61 | 18.16 | 517 | 220 | 2.35 | 220 | 0.00 | 1808 | 1042 |
| 21          | 11.61 | 18.16 | 517 | 220 | 2.35 | 220 | 0.00 | 1739 | 1042 |
| 22          | 11.61 | 18.16 | 292 | 220 | 1.33 | 220 | 0.00 | 1629 | 1042 |
| 23          | 11.61 | 18.16 | 292 | 220 | 1.33 | 220 | 0.00 | 1579 | 1042 |
| 24          | 11.61 | 18.16 | 292 | 220 | 1.33 | 220 | 0.00 | 1456 | 1042 |
| 17 Mei 2018 |       |       |     |     |      |     |      |      |      |
| 1           | 11.61 | 18.16 | 192 | 220 | 0.87 | 220 | 0.00 | 1088 | 1451 |
| 2           | 11.61 | 18.16 | 192 | 220 | 0.87 | 220 | 0.00 | 1094 | 1458 |
| 3           | 11.61 | 18.16 | 192 | 220 | 0.87 | 220 | 0.00 | 1089 | 1452 |
| 4           | 11.61 | 18.16 | 192 | 220 | 0.87 | 220 | 0.00 | 1089 | 1451 |
| 5           | 11.61 | 18.16 | 192 | 220 | 0.87 | 220 | 0.00 | 1092 | 1456 |
| 6           | 11.61 | 18.16 | 820 | 220 | 3.73 | 220 | 0.00 | 1103 | 1471 |
| 7           | 11.61 | 18.16 | 945 | 220 | 4.30 | 220 | 0.00 | 1201 | 1601 |

|             |       |       |     |     |      |     |      |      |      |
|-------------|-------|-------|-----|-----|------|-----|------|------|------|
| 8           | 11.61 | 18.16 | 345 | 220 | 1.57 | 220 | 0.00 | 1211 | 1614 |
| 9           | 11.61 | 18.16 | 520 | 220 | 2.36 | 220 | 0.00 | 1248 | 1664 |
| 10          | 11.61 | 18.16 | 520 | 220 | 2.36 | 220 | 0.00 | 1237 | 1649 |
| 11          | 11.61 | 18.16 | 220 | 220 | 1.00 | 220 | 0.00 | 1196 | 1595 |
| 12          | 11.61 | 18.16 | 480 | 220 | 2.18 | 220 | 0.00 | 1176 | 1568 |
| 13          | 11.61 | 18.16 | 480 | 220 | 2.18 | 220 | 0.00 | 1141 | 1521 |
| 14          | 11.61 | 18.16 | 380 | 220 | 1.73 | 220 | 0.00 | 1107 | 1476 |
| 15          | 11.61 | 18.16 | 380 | 220 | 1.73 | 220 | 0.00 | 1091 | 1455 |
| 16          | 11.61 | 18.16 | 380 | 220 | 1.73 | 220 | 0.00 | 1158 | 1544 |
| 17          | 11.61 | 18.16 | 380 | 220 | 1.73 | 220 | 0.00 | 1204 | 1605 |
| 18          | 11.61 | 18.16 | 777 | 220 | 3.53 | 220 | 0.00 | 1399 | 1865 |
| 19          | 11.61 | 18.16 | 517 | 220 | 2.35 | 220 | 0.00 | 1327 | 1770 |
| 20          | 11.61 | 18.16 | 517 | 220 | 2.35 | 220 | 0.00 | 1290 | 1720 |
| 21          | 11.61 | 18.16 | 517 | 220 | 2.35 | 220 | 0.00 | 1237 | 1649 |
| 22          | 11.61 | 18.16 | 292 | 220 | 1.33 | 220 | 0.00 | 1247 | 1662 |
| 23          | 11.61 | 18.16 | 292 | 220 | 1.33 | 220 | 0.00 | 1181 | 1575 |
| 24          | 11.61 | 18.16 | 292 | 220 | 1.33 | 220 | 0.00 | 1212 | 1615 |
| 18 Mei 2018 |       |       |     |     |      |     |      |      |      |
| 1           | 12.18 | 58.68 | 192 | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1517 | 1042 |
| 2           | 12.17 | 58.20 | 192 | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1484 | 1042 |
| 3           | 12.17 | 57.73 | 192 | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1475 | 1042 |
| 4           | 12.16 | 57.26 | 192 | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1467 | 1042 |
| 5           | 12.15 | 56.79 | 192 | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1536 | 1042 |
| 6           | 12.13 | 54.77 | 820 | 220 | 0.00 | 220 | 3.73 | 1547 | 1042 |
| 7           | 12.10 | 52.77 | 820 | 220 | 0.00 | 220 | 3.73 | 1503 | 1042 |
| 8           | 12.09 | 52.23 | 220 | 220 | 0.00 | 220 | 1.00 | 1629 | 1042 |
| 9           | 12.08 | 51.70 | 220 | 220 | 0.00 | 220 | 1.00 | 1732 | 1042 |
| 10          | 12.08 | 51.16 | 220 | 220 | 0.00 | 220 | 1.00 | 1764 | 1042 |
| 11          | 12.07 | 50.63 | 220 | 220 | 0.00 | 220 | 1.00 | 1794 | 1042 |
| 12          | 12.06 | 50.10 | 220 | 220 | 0.00 | 220 | 1.00 | 1702 | 1042 |
| 13          | 12.04 | 49.08 | 480 | 220 | 1.09 | 220 | 1.09 | 1738 | 1042 |
| 14          | 12.03 | 48.28 | 380 | 220 | 0.86 | 220 | 0.86 | 1782 | 1042 |
| 15          | 12.02 | 47.48 | 380 | 220 | 0.86 | 220 | 0.86 | 1768 | 1042 |
| 16          | 12.01 | 46.68 | 380 | 220 | 0.86 | 220 | 0.86 | 1753 | 1042 |
| 17          | 11.99 | 45.88 | 380 | 220 | 0.86 | 220 | 0.86 | 1767 | 1042 |
| 18          | 11.98 | 44.80 | 517 | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 1919 | 1042 |
| 19          | 11.96 | 43.72 | 517 | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 1906 | 1042 |
| 20          | 11.94 | 42.64 | 517 | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 1808 | 1042 |
| 21          | 11.92 | 41.57 | 517 | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 1739 | 1042 |
| 22          | 11.91 | 40.97 | 292 | 220 | 0.66 | 220 | 0.66 | 1629 | 1042 |
| 23          | 11.91 | 40.36 | 292 | 220 | 0.66 | 220 | 0.66 | 1579 | 1042 |
| 24          | 11.90 | 38.49 | 292 | 220 | 0.66 | 220 | 0.66 | 1456 | 1042 |
| 19 Mei 2018 |       |       |     |     |      |     |      |      |      |
| 1           | 12.21 | 60.59 | 192 | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1451 | 1451 |
| 2           | 12.19 | 59.66 | 192 | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1458 | 1458 |
| 3           | 12.18 | 58.72 | 192 | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1452 | 1452 |

|             |       |       |     |     |      |     |      |      |      |
|-------------|-------|-------|-----|-----|------|-----|------|------|------|
| 4           | 12.17 | 57.77 | 192 | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1451 | 1451 |
| 5           | 12.15 | 56.83 | 192 | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1456 | 1456 |
| 6           | 12.10 | 52.82 | 820 | 220 | 0.00 | 220 | 3.73 | 1471 | 1471 |
| 7           | 12.07 | 50.53 | 945 | 220 | 0.00 | 220 | 4.30 | 1601 | 1601 |
| 8           | 12.06 | 49.75 | 345 | 220 | 0.63 | 220 | 0.94 | 1614 | 1614 |
| 9           | 12.04 | 48.65 | 520 | 220 | 0.95 | 220 | 1.42 | 1664 | 1664 |
| 10          | 12.02 | 47.56 | 520 | 220 | 0.95 | 220 | 1.42 | 1649 | 1649 |
| 11          | 12.01 | 47.10 | 220 | 220 | 0.40 | 220 | 0.60 | 1595 | 1595 |
| 12          | 12.00 | 46.52 | 480 | 220 | 0.87 | 220 | 1.31 | 1568 | 1568 |
| 13          | 11.98 | 45.45 | 480 | 220 | 0.87 | 220 | 1.31 | 1521 | 1521 |
| 14          | 11.97 | 44.60 | 380 | 220 | 0.69 | 220 | 1.04 | 1476 | 1476 |
| 15          | 11.96 | 43.76 | 380 | 220 | 0.69 | 220 | 1.04 | 1455 | 1455 |
| 16          | 11.94 | 42.92 | 380 | 220 | 0.69 | 220 | 1.04 | 1544 | 1544 |
| 17          | 11.93 | 42.08 | 380 | 220 | 0.69 | 220 | 1.04 | 1605 | 1605 |
| 18          | 11.90 | 40.37 | 777 | 220 | 1.41 | 220 | 2.12 | 1865 | 1865 |
| 19          | 11.89 | 39.24 | 517 | 220 | 0.94 | 220 | 1.41 | 1770 | 1770 |
| 20          | 11.87 | 38.11 | 517 | 220 | 0.94 | 220 | 1.41 | 1720 | 1720 |
| 21          | 11.85 | 36.98 | 517 | 220 | 0.94 | 220 | 1.41 | 1649 | 1649 |
| 22          | 11.84 | 36.34 | 292 | 220 | 0.53 | 220 | 0.80 | 1662 | 1662 |
| 23          | 11.83 | 35.71 | 292 | 220 | 0.53 | 220 | 0.80 | 1575 | 1575 |
| 24          | 11.83 | 35.08 | 292 | 220 | 0.53 | 220 | 0.80 | 1615 | 1615 |
| 20 Mei 2018 |       |       |     |     |      |     |      |      |      |
| 1           | 12.36 | 70.17 | 168 | 220 | 0.00 | 220 | 0.76 | 1814 | 1451 |
| 2           | 12.35 | 70.11 | 168 | 220 | 0.00 | 220 | 0.76 | 1823 | 1458 |
| 3           | 12.34 | 70.06 | 154 | 220 | 0.00 | 220 | 0.70 | 1815 | 1452 |
| 4           | 12.33 | 70.00 | 192 | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1814 | 1451 |
| 5           | 12.31 | 69.31 | 192 | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1820 | 1456 |
| 6           | 12.30 | 68.31 | 172 | 220 | 0.00 | 220 | 0.78 | 1838 | 1471 |
| 7           | 12.29 | 67.62 | 120 | 220 | 0.00 | 220 | 0.55 | 2002 | 1601 |
| 8           | 12.25 | 64.05 | 620 | 220 | 0.00 | 220 | 2.82 | 2018 | 1614 |
| 9           | 12.21 | 60.50 | 620 | 220 | 0.00 | 220 | 2.82 | 2080 | 1664 |
| 10          | 12.19 | 58.98 | 320 | 220 | 0.00 | 220 | 1.45 | 2061 | 1649 |
| 11          | 12.16 | 57.42 | 320 | 220 | 0.00 | 220 | 1.45 | 1993 | 1595 |
| 12          | 12.12 | 54.62 | 580 | 220 | 0.00 | 220 | 2.64 | 1959 | 1568 |
| 13          | 12.09 | 52.31 | 480 | 220 | 0.00 | 220 | 2.18 | 1902 | 1521 |
| 14          | 12.07 | 50.49 | 380 | 220 | 0.00 | 220 | 1.73 | 1845 | 1476 |
| 15          | 12.03 | 48.40 | 980 | 220 | 2.23 | 220 | 2.23 | 1819 | 1455 |
| 16          | 12.00 | 46.36 | 980 | 220 | 2.23 | 220 | 2.23 | 1930 | 1544 |
| 17          | 11.99 | 45.58 | 380 | 220 | 0.86 | 220 | 0.86 | 2007 | 1605 |
| 18          | 11.97 | 44.84 | 517 | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 2331 | 1865 |
| 19          | 11.95 | 43.70 | 517 | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 2212 | 1770 |
| 20          | 11.94 | 42.57 | 517 | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 2149 | 1720 |
| 21          | 11.92 | 41.45 | 517 | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 2061 | 1649 |
| 22          | 11.91 | 40.81 | 292 | 220 | 0.66 | 220 | 0.66 | 2078 | 1662 |
| 23          | 11.90 | 38.85 | 292 | 220 | 0.66 | 220 | 0.66 | 1968 | 1575 |
| 24          | 11.89 | 38.43 | 220 | 220 | 0.50 | 220 | 0.50 | 2019 | 1615 |

| 21 Mei 2018 |       |       |     |     |      |     |      |      |      |
|-------------|-------|-------|-----|-----|------|-----|------|------|------|
| 1           | 12.24 | 62.98 | 192 | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1517 | 1042 |
| 2           | 12.22 | 61.87 | 192 | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1484 | 1042 |
| 3           | 12.21 | 60.76 | 192 | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1475 | 1042 |
| 4           | 12.20 | 59.82 | 192 | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1467 | 1042 |
| 5           | 12.18 | 58.87 | 192 | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1536 | 1042 |
| 6           | 12.13 | 54.86 | 820 | 220 | 0.00 | 220 | 3.73 | 1547 | 1042 |
| 7           | 12.06 | 50.28 | 945 | 220 | 0.00 | 220 | 4.30 | 1503 | 1042 |
| 8           | 12.04 | 48.80 | 345 | 220 | 0.78 | 220 | 0.78 | 1629 | 1042 |
| 9           | 12.01 | 46.62 | 520 | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 1732 | 1042 |
| 10          | 11.97 | 44.45 | 520 | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 1764 | 1042 |
| 11          | 11.96 | 43.54 | 220 | 220 | 0.50 | 220 | 0.50 | 1794 | 1042 |
| 12          | 11.92 | 41.56 | 480 | 220 | 1.09 | 220 | 1.09 | 1702 | 1042 |
| 13          | 11.89 | 39.58 | 480 | 220 | 1.09 | 220 | 1.09 | 1738 | 1042 |
| 14          | 11.87 | 37.92 | 380 | 220 | 0.86 | 220 | 0.86 | 1782 | 1042 |
| 15          | 11.84 | 36.27 | 380 | 220 | 0.86 | 220 | 0.86 | 1768 | 1042 |
| 16          | 11.83 | 35.28 | 380 | 220 | 0.86 | 220 | 0.86 | 1753 | 1042 |
| 17          | 11.81 | 34.29 | 380 | 220 | 0.86 | 220 | 0.86 | 1767 | 1042 |
| 18          | 11.78 | 32.29 | 777 | 220 | 1.77 | 220 | 1.77 | 1919 | 1042 |
| 19          | 11.76 | 30.96 | 517 | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 1906 | 1042 |
| 20          | 11.74 | 29.55 | 517 | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 1808 | 1042 |
| 21          | 11.72 | 28.38 | 517 | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 1739 | 1042 |
| 22          | 11.71 | 27.72 | 292 | 220 | 0.66 | 220 | 0.66 | 1629 | 1042 |
| 23          | 11.70 | 27.07 | 292 | 220 | 0.66 | 220 | 0.66 | 1579 | 1042 |
| 24          | 11.69 | 26.42 | 292 | 220 | 0.66 | 220 | 0.66 | 1456 | 1042 |
| 22 Mei 2018 |       |       |     |     |      |     |      |      |      |
| 1           | 12.24 | 62.98 | 192 | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1517 | 1042 |
| 2           | 12.22 | 61.87 | 192 | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1484 | 1042 |
| 3           | 12.21 | 60.76 | 192 | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1475 | 1042 |
| 4           | 12.20 | 59.82 | 192 | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1467 | 1042 |
| 5           | 12.18 | 58.87 | 192 | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1536 | 1042 |
| 6           | 12.13 | 54.86 | 820 | 220 | 0.00 | 220 | 3.73 | 1547 | 1042 |
| 7           | 12.06 | 50.28 | 945 | 220 | 0.00 | 220 | 4.30 | 1503 | 1042 |
| 8           | 12.04 | 48.80 | 345 | 220 | 0.78 | 220 | 0.78 | 1629 | 1042 |
| 9           | 12.01 | 46.62 | 520 | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 1732 | 1042 |
| 10          | 11.97 | 44.45 | 520 | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 1764 | 1042 |
| 11          | 11.96 | 43.54 | 220 | 220 | 0.50 | 220 | 0.50 | 1794 | 1042 |
| 12          | 11.92 | 41.56 | 480 | 220 | 1.09 | 220 | 1.09 | 1702 | 1042 |
| 13          | 11.89 | 39.58 | 480 | 220 | 1.09 | 220 | 1.09 | 1738 | 1042 |
| 14          | 11.87 | 37.92 | 380 | 220 | 0.86 | 220 | 0.86 | 1782 | 1042 |
| 15          | 11.84 | 36.27 | 380 | 220 | 0.86 | 220 | 0.86 | 1768 | 1042 |
| 16          | 11.83 | 35.28 | 380 | 220 | 0.86 | 220 | 0.86 | 1753 | 1042 |
| 17          | 11.81 | 34.29 | 380 | 220 | 0.86 | 220 | 0.86 | 1767 | 1042 |
| 18          | 11.78 | 32.29 | 777 | 220 | 1.77 | 220 | 1.77 | 1919 | 1042 |
| 19          | 11.76 | 30.96 | 517 | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 1906 | 1042 |
| 20          | 11.74 | 29.55 | 517 | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 1808 | 1042 |

|             |       |       |      |     |      |     |      |      |      |
|-------------|-------|-------|------|-----|------|-----|------|------|------|
| 21          | 11.72 | 28.38 | 517  | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 1739 | 1042 |
| 22          | 11.71 | 27.72 | 292  | 220 | 0.66 | 220 | 0.66 | 1629 | 1042 |
| 23          | 11.70 | 27.07 | 292  | 220 | 0.66 | 220 | 0.66 | 1579 | 1042 |
| 24          | 11.69 | 26.42 | 292  | 220 | 0.66 | 220 | 0.66 | 1456 | 1042 |
| 23 Mei 2018 |       |       |      |     |      |     |      |      |      |
| 1           | 12.46 | 88.16 | 168  | 220 | 0.00 | 220 | 0.76 | 1088 | 1451 |
| 2           | 12.45 | 87.56 | 168  | 220 | 0.00 | 220 | 0.76 | 1094 | 1458 |
| 3           | 12.44 | 87.02 | 154  | 220 | 0.00 | 220 | 0.70 | 1089 | 1452 |
| 4           | 12.43 | 86.34 | 192  | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1089 | 1451 |
| 5           | 12.41 | 78.67 | 192  | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1092 | 1456 |
| 6           | 12.40 | 77.16 | 172  | 220 | 0.00 | 220 | 0.78 | 1103 | 1471 |
| 7           | 12.35 | 70.88 | 720  | 220 | 0.00 | 220 | 3.27 | 1201 | 1601 |
| 8           | 12.26 | 64.79 | 1345 | 220 | 0.00 | 220 | 6.11 | 1211 | 1614 |
| 9           | 12.21 | 60.55 | 745  | 220 | 0.00 | 220 | 3.39 | 1248 | 1664 |
| 10          | 12.19 | 59.04 | 320  | 220 | 0.00 | 220 | 1.45 | 1237 | 1649 |
| 11          | 12.16 | 57.49 | 320  | 220 | 0.00 | 220 | 1.45 | 1196 | 1595 |
| 12          | 12.13 | 54.71 | 580  | 220 | 0.00 | 220 | 2.64 | 1176 | 1568 |
| 13          | 12.09 | 52.42 | 480  | 220 | 0.00 | 220 | 2.18 | 1141 | 1521 |
| 14          | 12.07 | 50.62 | 380  | 220 | 0.00 | 220 | 1.73 | 1107 | 1476 |
| 15          | 12.06 | 49.76 | 380  | 220 | 0.86 | 220 | 0.86 | 1091 | 1455 |
| 16          | 12.04 | 48.98 | 380  | 220 | 0.86 | 220 | 0.86 | 1158 | 1544 |
| 17          | 12.03 | 48.19 | 380  | 220 | 0.86 | 220 | 0.86 | 1204 | 1605 |
| 18          | 12.01 | 47.13 | 517  | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 1399 | 1865 |
| 19          | 12.00 | 46.07 | 517  | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 1327 | 1770 |
| 20          | 11.98 | 45.37 | 517  | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 1290 | 1720 |
| 21          | 11.96 | 44.24 | 517  | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 1237 | 1649 |
| 22          | 11.95 | 43.61 | 292  | 220 | 0.66 | 220 | 0.66 | 1247 | 1662 |
| 23          | 11.94 | 42.97 | 292  | 220 | 0.66 | 220 | 0.66 | 1181 | 1575 |
| 24          | 11.93 | 42.40 | 264  | 220 | 0.60 | 220 | 0.60 | 1212 | 1615 |
| 24 Mei 2018 |       |       |      |     |      |     |      |      |      |
| 1           | 12.49 | 70.76 | 168  | 220 | 0.00 | 220 | 0.76 | 1814 | 1451 |
| 2           | 12.47 | 70.71 | 168  | 220 | 0.00 | 220 | 0.76 | 1823 | 1458 |
| 3           | 12.46 | 70.65 | 154  | 220 | 0.00 | 220 | 0.70 | 1815 | 1452 |
| 4           | 12.45 | 70.59 | 192  | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1814 | 1451 |
| 5           | 12.44 | 79.67 | 192  | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1820 | 1456 |
| 6           | 12.42 | 78.67 | 172  | 220 | 0.00 | 220 | 0.78 | 1838 | 1471 |
| 7           | 12.37 | 74.47 | 720  | 220 | 0.00 | 220 | 3.27 | 2002 | 1601 |
| 8           | 12.28 | 65.88 | 1345 | 220 | 0.00 | 220 | 6.11 | 2018 | 1614 |
| 9           | 12.23 | 62.24 | 745  | 220 | 0.00 | 220 | 3.39 | 2080 | 1664 |
| 10          | 12.21 | 60.69 | 320  | 220 | 0.00 | 220 | 1.45 | 2061 | 1649 |
| 11          | 12.19 | 59.15 | 320  | 220 | 0.00 | 220 | 1.45 | 1993 | 1595 |
| 12          | 12.17 | 56.79 | 580  | 220 | 0.00 | 220 | 2.64 | 1959 | 1568 |
| 13          | 12.15 | 55.78 | 480  | 220 | 0.00 | 220 | 2.18 | 1902 | 1521 |
| 14          | 12.14 | 54.99 | 380  | 220 | 0.00 | 220 | 1.73 | 1845 | 1476 |
| 15          | 12.13 | 54.19 | 380  | 220 | 0.00 | 220 | 1.73 | 1819 | 1455 |
| 16          | 12.11 | 53.40 | 380  | 220 | 0.00 | 220 | 1.73 | 1930 | 1544 |

|             |       |       |      |     |      |     |      |      |      |
|-------------|-------|-------|------|-----|------|-----|------|------|------|
| 17          | 12.10 | 53.47 | 380  | 220 | 0.00 | 220 | 1.73 | 2007 | 1605 |
| 18          | 12.08 | 52.32 | 517  | 220 | 0.00 | 220 | 2.35 | 2331 | 1865 |
| 19          | 12.07 | 51.18 | 517  | 220 | 0.00 | 220 | 2.35 | 2212 | 1770 |
| 20          | 12.05 | 50.04 | 517  | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 2149 | 1720 |
| 21          | 12.03 | 48.91 | 517  | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 2061 | 1649 |
| 22          | 12.02 | 48.27 | 292  | 220 | 0.66 | 220 | 0.66 | 2078 | 1662 |
| 23          | 12.01 | 47.63 | 292  | 220 | 0.66 | 220 | 0.66 | 1968 | 1575 |
| 24          | 12.00 | 47.05 | 264  | 220 | 0.60 | 220 | 0.60 | 2019 | 1615 |
| 25 Mei 2018 |       |       |      |     |      |     |      |      |      |
| 1           | 12.49 | 87.98 | 154  | 220 | 0.00 | 220 | 0.70 | 1088 | 1451 |
| 2           | 12.48 | 86.61 | 154  | 220 | 0.00 | 220 | 0.70 | 1094 | 1458 |
| 3           | 12.47 | 85.25 | 154  | 220 | 0.00 | 220 | 0.70 | 1089 | 1452 |
| 4           | 12.45 | 83.81 | 164  | 220 | 0.00 | 220 | 0.75 | 1089 | 1451 |
| 5           | 12.44 | 82.36 | 164  | 220 | 0.00 | 220 | 0.75 | 1092 | 1456 |
| 6           | 12.39 | 70.31 | 730  | 220 | 0.00 | 220 | 3.32 | 1103 | 1471 |
| 7           | 12.34 | 70.07 | 720  | 220 | 0.00 | 220 | 3.27 | 1201 | 1601 |
| 8           | 12.31 | 69.31 | 420  | 220 | 0.00 | 220 | 1.91 | 1211 | 1614 |
| 9           | 12.30 | 68.05 | 220  | 220 | 0.00 | 220 | 1.00 | 1248 | 1664 |
| 10          | 12.28 | 66.22 | 320  | 220 | 0.00 | 220 | 1.45 | 1237 | 1649 |
| 11          | 12.25 | 64.40 | 320  | 220 | 0.00 | 220 | 1.45 | 1196 | 1595 |
| 12          | 12.21 | 61.11 | 580  | 220 | 0.00 | 220 | 2.64 | 1176 | 1568 |
| 13          | 12.18 | 58.74 | 480  | 220 | 0.00 | 220 | 2.18 | 1141 | 1521 |
| 14          | 12.16 | 56.92 | 380  | 220 | 0.00 | 220 | 1.73 | 1107 | 1476 |
| 15          | 12.13 | 55.10 | 380  | 220 | 0.00 | 220 | 1.73 | 1091 | 1455 |
| 16          | 12.11 | 53.28 | 380  | 220 | 0.00 | 220 | 1.73 | 1158 | 1544 |
| 17          | 12.08 | 51.48 | 380  | 220 | 0.00 | 220 | 1.73 | 1204 | 1605 |
| 18          | 12.06 | 50.23 | 517  | 220 | 0.00 | 220 | 2.35 | 1399 | 1865 |
| 19          | 12.05 | 49.17 | 517  | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 1327 | 1770 |
| 20          | 12.03 | 48.10 | 517  | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 1290 | 1720 |
| 21          | 12.01 | 47.04 | 517  | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 1237 | 1649 |
| 22          | 12.00 | 46.44 | 292  | 220 | 0.66 | 220 | 0.66 | 1247 | 1662 |
| 23          | 11.99 | 45.85 | 292  | 220 | 0.66 | 220 | 0.66 | 1181 | 1575 |
| 24          | 11.98 | 45.25 | 292  | 220 | 0.66 | 220 | 0.66 | 1212 | 1615 |
| 26 Mei 2018 |       |       |      |     |      |     |      |      |      |
| 1           | 12.24 | 63.12 | 168  | 220 | 0.00 | 220 | 0.76 | 1814 | 1451 |
| 2           | 12.23 | 62.15 | 168  | 220 | 0.00 | 220 | 0.76 | 1823 | 1458 |
| 3           | 12.22 | 61.26 | 154  | 220 | 0.00 | 220 | 0.70 | 1815 | 1452 |
| 4           | 12.20 | 60.15 | 192  | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1814 | 1451 |
| 5           | 12.19 | 59.29 | 192  | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1820 | 1456 |
| 6           | 12.18 | 58.45 | 172  | 220 | 0.00 | 220 | 0.78 | 1838 | 1471 |
| 7           | 12.13 | 54.92 | 720  | 220 | 0.00 | 220 | 3.27 | 2002 | 1601 |
| 8           | 12.04 | 48.63 | 1345 | 220 | 3.06 | 220 | 3.06 | 2018 | 1614 |
| 9           | 11.99 | 45.51 | 745  | 220 | 1.69 | 220 | 1.69 | 2080 | 1664 |
| 10          | 11.97 | 44.18 | 320  | 220 | 0.73 | 220 | 0.73 | 2061 | 1649 |
| 11          | 11.94 | 42.85 | 320  | 220 | 0.73 | 220 | 0.73 | 1993 | 1595 |
| 12          | 11.93 | 41.66 | 580  | 220 | 1.32 | 220 | 1.32 | 1959 | 1568 |



|             |       |       |     |     |      |     |      |      |      |
|-------------|-------|-------|-----|-----|------|-----|------|------|------|
| 13          | 11.91 | 40.67 | 480 | 220 | 1.09 | 220 | 1.09 | 1902 | 1521 |
| 14          | 11.90 | 39.90 | 380 | 220 | 0.86 | 220 | 0.86 | 1845 | 1476 |
| 15          | 11.88 | 39.07 | 380 | 220 | 0.86 | 220 | 0.86 | 1819 | 1455 |
| 16          | 11.87 | 38.24 | 380 | 220 | 0.86 | 220 | 0.86 | 1930 | 1544 |
| 17          | 11.86 | 37.41 | 380 | 220 | 0.86 | 220 | 0.86 | 2007 | 1605 |
| 18          | 11.84 | 36.29 | 517 | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 2331 | 1865 |
| 19          | 11.83 | 35.17 | 517 | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 2212 | 1770 |
| 20          | 11.81 | 34.05 | 517 | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 2149 | 1720 |
| 21          | 11.79 | 32.94 | 517 | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 2061 | 1649 |
| 22          | 11.78 | 32.31 | 292 | 220 | 0.66 | 220 | 0.66 | 2078 | 1662 |
| 23          | 11.77 | 31.69 | 292 | 220 | 0.66 | 220 | 0.66 | 1968 | 1575 |
| 24          | 11.77 | 31.12 | 264 | 220 | 0.60 | 220 | 0.60 | 2019 | 1615 |
| 27 Mei 2018 |       |       |     |     |      |     |      |      |      |
| 1           | 12.36 | 70.17 | 168 | 220 | 0.00 | 220 | 0.76 | 1517 | 1042 |
| 2           | 12.35 | 70.11 | 168 | 220 | 0.00 | 220 | 0.76 | 1484 | 1042 |
| 3           | 12.34 | 70.06 | 154 | 220 | 0.00 | 220 | 0.70 | 1475 | 1042 |
| 4           | 12.33 | 70.00 | 192 | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1467 | 1042 |
| 5           | 12.31 | 69.31 | 192 | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1536 | 1042 |
| 6           | 12.30 | 68.31 | 172 | 220 | 0.00 | 220 | 0.78 | 1547 | 1042 |
| 7           | 12.29 | 67.62 | 120 | 220 | 0.00 | 220 | 0.55 | 1503 | 1042 |
| 8           | 12.25 | 64.05 | 620 | 220 | 0.00 | 220 | 2.82 | 1629 | 1042 |
| 9           | 12.21 | 60.50 | 620 | 220 | 0.00 | 220 | 2.82 | 1732 | 1042 |
| 10          | 12.19 | 58.98 | 320 | 220 | 0.00 | 220 | 1.45 | 1764 | 1042 |
| 11          | 12.16 | 57.42 | 320 | 220 | 0.00 | 220 | 1.45 | 1794 | 1042 |
| 12          | 12.12 | 54.62 | 580 | 220 | 0.00 | 220 | 2.64 | 1702 | 1042 |
| 13          | 12.09 | 52.31 | 480 | 220 | 0.00 | 220 | 2.18 | 1738 | 1042 |
| 14          | 12.07 | 50.49 | 380 | 220 | 0.00 | 220 | 1.73 | 1782 | 1042 |
| 15          | 12.03 | 48.40 | 980 | 220 | 2.23 | 220 | 2.23 | 1768 | 1042 |
| 16          | 12.00 | 46.36 | 980 | 220 | 2.23 | 220 | 2.23 | 1753 | 1042 |
| 17          | 11.99 | 45.58 | 380 | 220 | 0.86 | 220 | 0.86 | 1767 | 1042 |
| 18          | 11.97 | 44.84 | 517 | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 1919 | 1042 |
| 19          | 11.95 | 43.70 | 517 | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 1906 | 1042 |
| 20          | 11.94 | 42.57 | 517 | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 1808 | 1042 |
| 21          | 11.92 | 41.45 | 517 | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 1739 | 1042 |
| 22          | 11.91 | 40.81 | 292 | 220 | 0.66 | 220 | 0.66 | 1629 | 1042 |
| 23          | 11.90 | 38.85 | 292 | 220 | 0.66 | 220 | 0.66 | 1579 | 1042 |
| 24          | 11.89 | 38.43 | 220 | 220 | 0.50 | 220 | 0.50 | 1456 | 1042 |
| 28 Mei 2018 |       |       |     |     |      |     |      |      |      |
| 1           | 12.61 | 95.56 | 192 | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1451 | 1451 |
| 2           | 12.60 | 94.88 | 192 | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1458 | 1458 |
| 3           | 12.58 | 94.19 | 192 | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1452 | 1452 |
| 4           | 12.57 | 93.51 | 192 | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1451 | 1451 |
| 5           | 12.56 | 92.83 | 192 | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1456 | 1456 |
| 6           | 12.50 | 89.32 | 820 | 220 | 0.00 | 220 | 3.73 | 1471 | 1471 |
| 7           | 12.44 | 82.15 | 820 | 220 | 0.00 | 220 | 3.73 | 1601 | 1601 |
| 8           | 12.43 | 80.24 | 220 | 220 | 0.00 | 220 | 1.00 | 1614 | 1614 |

|             |       |       |     |     |      |     |      |      |      |
|-------------|-------|-------|-----|-----|------|-----|------|------|------|
| 9           | 12.41 | 70.40 | 220 | 220 | 0.00 | 220 | 1.00 | 1664 | 1664 |
| 10          | 12.40 | 70.33 | 220 | 220 | 0.00 | 220 | 1.00 | 1649 | 1649 |
| 11          | 12.38 | 70.25 | 220 | 220 | 0.00 | 220 | 1.00 | 1595 | 1595 |
| 12          | 12.37 | 70.18 | 220 | 220 | 0.00 | 220 | 1.00 | 1568 | 1568 |
| 13          | 12.33 | 70.03 | 480 | 220 | 0.00 | 220 | 2.18 | 1521 | 1521 |
| 14          | 12.31 | 68.77 | 380 | 220 | 0.00 | 220 | 1.73 | 1476 | 1476 |
| 15          | 12.28 | 66.62 | 380 | 220 | 0.00 | 220 | 1.73 | 1455 | 1455 |
| 16          | 12.25 | 64.47 | 380 | 220 | 0.00 | 220 | 1.73 | 1544 | 1544 |
| 17          | 12.23 | 62.34 | 380 | 220 | 0.00 | 220 | 1.73 | 1605 | 1605 |
| 18          | 12.19 | 59.64 | 517 | 220 | 0.00 | 220 | 2.35 | 1865 | 1865 |
| 19          | 12.16 | 57.17 | 517 | 220 | 0.00 | 220 | 2.35 | 1770 | 1770 |
| 20          | 12.13 | 54.72 | 517 | 220 | 0.00 | 220 | 2.35 | 1720 | 1720 |
| 21          | 12.09 | 52.28 | 517 | 220 | 0.00 | 220 | 2.35 | 1649 | 1649 |
| 22          | 12.07 | 50.91 | 292 | 220 | 0.00 | 220 | 1.33 | 1662 | 1662 |
| 23          | 12.06 | 50.40 | 292 | 220 | 0.00 | 220 | 1.33 | 1575 | 1575 |
| 24          | 12.06 | 49.91 | 292 | 220 | 0.53 | 220 | 0.80 | 1615 | 1615 |
| 29 Mei 2018 |       |       |     |     |      |     |      |      |      |
| 1           | 12.36 | 70.17 | 168 | 220 | 0.00 | 220 | 0.76 | 1088 | 1451 |
| 2           | 12.35 | 70.11 | 168 | 220 | 0.00 | 220 | 0.76 | 1094 | 1458 |
| 3           | 12.34 | 70.06 | 154 | 220 | 0.00 | 220 | 0.70 | 1089 | 1452 |
| 4           | 12.33 | 70.00 | 192 | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1089 | 1451 |
| 5           | 12.31 | 69.31 | 192 | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1092 | 1456 |
| 6           | 12.30 | 68.31 | 172 | 220 | 0.00 | 220 | 0.78 | 1103 | 1471 |
| 7           | 12.29 | 67.62 | 120 | 220 | 0.00 | 220 | 0.55 | 1201 | 1601 |
| 8           | 12.25 | 64.05 | 620 | 220 | 0.00 | 220 | 2.82 | 1211 | 1614 |
| 9           | 12.21 | 60.50 | 620 | 220 | 0.00 | 220 | 2.82 | 1248 | 1664 |
| 10          | 12.19 | 58.98 | 320 | 220 | 0.00 | 220 | 1.45 | 1237 | 1649 |
| 11          | 12.16 | 57.42 | 320 | 220 | 0.00 | 220 | 1.45 | 1196 | 1595 |
| 12          | 12.12 | 54.62 | 580 | 220 | 0.00 | 220 | 2.64 | 1176 | 1568 |
| 13          | 12.09 | 52.31 | 480 | 220 | 0.00 | 220 | 2.18 | 1141 | 1521 |
| 14          | 12.07 | 50.49 | 380 | 220 | 0.00 | 220 | 1.73 | 1107 | 1476 |
| 15          | 12.03 | 48.40 | 980 | 220 | 2.23 | 220 | 2.23 | 1091 | 1455 |
| 16          | 12.00 | 46.36 | 980 | 220 | 2.23 | 220 | 2.23 | 1158 | 1544 |
| 17          | 11.99 | 45.58 | 380 | 220 | 0.86 | 220 | 0.86 | 1204 | 1605 |
| 18          | 11.97 | 44.84 | 517 | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 1399 | 1865 |
| 19          | 11.95 | 43.70 | 517 | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 1327 | 1770 |
| 20          | 11.94 | 42.57 | 517 | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 1290 | 1720 |
| 21          | 11.92 | 41.45 | 517 | 220 | 1.18 | 220 | 1.18 | 1237 | 1649 |
| 22          | 11.91 | 40.81 | 292 | 220 | 0.66 | 220 | 0.66 | 1247 | 1662 |
| 23          | 11.90 | 38.85 | 292 | 220 | 0.66 | 220 | 0.66 | 1181 | 1575 |
| 24          | 11.89 | 38.43 | 220 | 220 | 0.50 | 220 | 0.50 | 1212 | 1615 |
| 30 Mei 2018 |       |       |     |     |      |     |      |      |      |
| 1           | 12.61 | 95.56 | 192 | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1814 | 1451 |
| 2           | 12.60 | 94.88 | 192 | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1823 | 1458 |
| 3           | 12.58 | 94.19 | 192 | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1815 | 1452 |
| 4           | 12.57 | 93.51 | 192 | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1814 | 1451 |

|    |       |       |     |     |      |     |      |      |      |
|----|-------|-------|-----|-----|------|-----|------|------|------|
| 5  | 12.56 | 92.83 | 192 | 220 | 0.00 | 220 | 0.87 | 1820 | 1456 |
| 6  | 12.50 | 89.32 | 820 | 220 | 0.00 | 220 | 3.73 | 1838 | 1471 |
| 7  | 12.44 | 82.15 | 820 | 220 | 0.00 | 220 | 3.73 | 2002 | 1601 |
| 8  | 12.43 | 80.24 | 220 | 220 | 0.00 | 220 | 1.00 | 2018 | 1614 |
| 9  | 12.41 | 70.40 | 220 | 220 | 0.00 | 220 | 1.00 | 2080 | 1664 |
| 10 | 12.40 | 70.33 | 220 | 220 | 0.00 | 220 | 1.00 | 2061 | 1649 |
| 11 | 12.38 | 70.25 | 220 | 220 | 0.00 | 220 | 1.00 | 1993 | 1595 |
| 12 | 12.37 | 70.18 | 220 | 220 | 0.00 | 220 | 1.00 | 1959 | 1568 |
| 13 | 12.33 | 70.03 | 480 | 220 | 0.00 | 220 | 2.18 | 1902 | 1521 |
| 14 | 12.31 | 68.77 | 380 | 220 | 0.00 | 220 | 1.73 | 1845 | 1476 |
| 15 | 12.28 | 66.62 | 380 | 220 | 0.00 | 220 | 1.73 | 1819 | 1455 |
| 16 | 12.25 | 64.47 | 380 | 220 | 0.00 | 220 | 1.73 | 1930 | 1544 |
| 17 | 12.23 | 62.34 | 380 | 220 | 0.00 | 220 | 1.73 | 2007 | 1605 |
| 18 | 12.19 | 59.64 | 517 | 220 | 0.00 | 220 | 2.35 | 2331 | 1865 |
| 19 | 12.16 | 57.17 | 517 | 220 | 0.00 | 220 | 2.35 | 2212 | 1770 |
| 20 | 12.13 | 54.72 | 517 | 220 | 0.00 | 220 | 2.35 | 2149 | 1720 |
| 21 | 12.09 | 52.28 | 517 | 220 | 0.00 | 220 | 2.35 | 2061 | 1649 |
| 22 | 12.07 | 50.91 | 292 | 220 | 0.66 | 220 | 0.66 | 2078 | 1662 |
| 23 | 12.06 | 50.40 | 292 | 220 | 0.66 | 220 | 0.66 | 1968 | 1575 |
| 24 | 12.06 | 49.91 | 292 | 220 | 0.66 | 220 | 0.66 | 2019 | 1615 |

*[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]*

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Krishnan, "Meters of tomorrow," *IEEE Power Energy Mag.*, vol. 6, no. 2, pp. 92–94, Mar. 2008.
- [2] M. Kuzlu, M. Pipattanasomporn, and S. Rahman, "Hardware demonstration of a home energy management system for demand response applications," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 3, no. 4, pp. 1704–1711, Dec. 2012.
- [3] M. Pipattanasomporn, M. Kuzlu, and S. Rahman, "An algorithm for intelligent home energy management and demand response analysis," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 3, no. 4, pp. 2166–2173, Dec. 2012.
- [4] Z. Zhao, W. C. Lee, Y. Shin, and K. B. Song, "An optimal power scheduling method for demand response in home energy management system," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 4, no. 3, pp. 1391–1400, Sep. 2013.
- [5] T. T. Kim and H. V. Poor, "Scheduling power consumption with price uncertainty," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 2, no. 3, pp. 519–527, Sep. 2011.
- [6] A. H. Mohsenian-Rad and A. Leon-Garcia, "Optimal residential load control with price prediction in real-time electricity pricing environments," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 1, no. 2, pp. 120–133, Sep. 2010.
- [7] M. A. A. Pedrasa, T. D. Spooner, and I. F. MacGill, "Coordinated scheduling of residential distributed energy resources to optimize smart home energy services," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 1, no. 2, pp. 134–143, Sep. 2010.
- [8] U.S. Dept. Energy, The smart grid: An introduction 2009 [Online]. Available: <http://www.oe.energy.gov/SmartGridIntroduction.htm>

- [9] A. Vojdani, "Smart integration," IEEE Power Energy Mag., vol. 6, no. 6, pp. 72–79, Nov. 2008.
- [10] J. S. Vardakas, N. Zorba, and C. V. Verikoukis, "A Survey on Demand Response Programs in Smart Grids: Pricing Methods and Optimization Algorithms," IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 17, pp. 152-178, 2015.
- [11] B. C. Hydro, "Residential Rates. [Online]. Available: <https://www.bchydro.com/accounts-billing/bill-payment/bill-details/bill-details-residential.html>," November 10, 2017.
- [12] P. Reiss and M. White, "Household electricity demand, revisited," Rev. Econ. Studies, vol. 72, no. 3, pp. 853–883, July 2005.
- [13] ZigBee Alliance, Zigbee smart energy profile specification, Zigbee. Doc. 075356r15, rev. 15, Dec. 2008.
- [14] ZigBee Plus HomePlug Joint Working Group, Smart energy profile marketing requirements document, Draft rev. 1.0, Mar. 2009.
- [15] Messenger, R., 2010. Photovoltaic Systems Engineering. 3rd ed. New York: CRC Press
- [16] Kaufmann, A., 1997. Integer and Mixed Programming : Theory and Applications. 1st ed. New York: Academic Press Inc.
- [17] Paliouras, G., 1998. Machine Learning and Its Applications. 1st ed. New York: Springer.
- [18] Momoh, J., 2012. Smart Grid Fundamentals of Design and Analysis. 1st ed. New York: John Wiley.

## **BIODATA PENULIS**



Muhammad Ali Fikri biasa dipanggil dengan Ali Fikri lahir di Gresik pada tanggal 30 Agustus 1995. Penulis menempuh pendidikan jenjang SD-SMA di Pondok Pesantren Maskumambang, Sidayu, Gresik kemudian melanjutkan studi strata satu di bidang teknik sistem tenaga listrik di Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya lewat beasiswa penuh Program Beasiswa Santri Berprestasi (PBSB) 2014 dari Kementerian Agama Republik Indonesia.

Selama menjadi mahasiswa penulis aktif di Laboratorium Teknik Sistem Tenaga Listrik atau PSSL (Power System Simulation Laboratory) sejak semester 5. Semester 1 sampai 4 penulis aktif di Unit Kegiatan Mahasiswa Robotika ITS dan bergabung menjadi tim robot seni ITS tahun 2016. Ditahun terakhir perkuliahan penulis aktif di Trainer Integrator ITS bertugas sebagai trainer keilmiahan di KM ITS.

Penulis dapat dihubungi melalui email : [fikrielits14@gmail.com](mailto:fikrielits14@gmail.com) atau di [linkedin.com/ematifikri](https://www.linkedin.com/company/ematifikri).

*[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]*